СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

С. Е. ВАСИЛЬЕВ, Б. М. ЗАБАРСКИЙ,
Е. И. ЗАБОКРИЦКИЙ

СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»
КИЕВ — 1966

6П2.1
В19

В справочнике приведены методики, объемы и нормы заводских, приемных и профилактических испытаний электрооборудования и электроавтоматики промышленных предприятий, городских и сельских электроустановок. Изложены методы некоторых приближенных расчетов, необходимость в которых возникает в процессе выполнения наладочных работ.

Объемы и нормы испытаний даны согласно ГОСТам и действующим правилам: «ПУЭ», «ПТЭ электростанций и сетей», «ПТЭ электрооборудования промышленных предприятий» и т. п.

Справочник рассчитан на мастеров, техников и инженеров, занятых наладкой, монтажом и эксплуатацией электростанций, электросетей, электрооборудования промышленных предприятий. Он может служить также учебным пособием по практическим работам для студентов высших и средних электротехнических учебных заведений.

3—3—9
556—66

ХАРЬКОВСКАЯ КНИЖНАЯ ФАБРИКА им. ФРУНЗЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Испытательно-наладочные работы выполняются как в период изготовления оборудования (заводские типовые и контрольные испытания), так и в процессе монтажа (приемо-сдаточные испытания и наладка), а также последующей эксплуатации (профилактические испытания, испытания после капитальных ремонтов и т. п.).

Вопросы наладки электроустановок и электроавтоматики широко освещены в ведомственных директивных материалах, инструкциях, периодической литературе и учебных пособиях. Требования по объемам и нормам испытаний изложены в соответствующих ГОСТах и правилах («ПУЭ», «ПТЭ электростанций и сетей», «ПТЭ электроустановок промышленных предприятий» и др.). Методические указания по проведению испытательно-наладочных работ многих видов электроустановок и их элементов содержатся в специальных ГОСТах (методы испытаний), в серии инструкций БТИ треста ОРГРЭС и в других источниках.

До настоящего времени не создано учебного или справочного пособия, которое содержало бы достаточно полные сведения о наладке основных видов электрооборудования и электроавтоматики, необходимые наладчику в процессе выполнения испытательно-наладочных работ.

Настоящая работа представляет собой первую попытку создания такого рода пособия. К сожалению, из-за недостаточного объема справочника в него не включены разделы «Наладка автоматизированного электропривода», «Техника безопасности при производстве наладочных работ» и др. По этой же причине основные разделы справочника даны в значительно сокращенном объеме.

В связи с тем, что в промышленности пользуются пока в основном метрической системой единиц измерения, все единицы в справочнике даны в этой системе. Для перевода в главе I приведены таблицы единиц измерения системы СИ и пересчетные значения метрических единиц.

Главы I, VIII, IX, XI — XVI написаны Б. М. Забарским, глава III — Е. И. Забокрицким и Б. М. Забарским, главы II, IV—VI, X, XVII и XVIII — Е. И. Забокрицким, VII — С. Е. Васильевым.

Все замечания и пожелания авторы просят направлять по адресу: Киев, ул Репина, 3, изд-во «Наукова думка».

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица I.1

Некоторые единицы Международной системы СИ

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
	ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ		
Длина	метр	*м*	
Масса	килограмм	*кг*	
Время	секунда	*сек*	
Сила электрического тока	ампер	*а*	
Термодинамическая температура	градус Кельвина	°K	
Сила света	свеча	*св*	
	ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ		
Плоский угол	радиан	*рад*	
Телесный угол	стерадиан	*стер*	
	ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ		
	Механические единицы		
Площадь	квадратный метр	*м*^{2}	(1 *м*) · (1 *м*)
Объем	кубический метр	*м*^{3}	(1 *м*)·(1 *м*)·(1*м*)
Частота	герц	*гц*	(1) : (1 *сек*)
Скорость линейная	метр в секунду	*м/сек*	(1*м*) : (1 *сек*)
Скорость угловая	радиан в секунду	*рад/сек*	(1 *рад*) : (1 *сек*)
Скорость массовая	килограмм на квадратный метр в секунду	*кг*/(*м*^{2} · *сек*)	(1 *кг*) : [(1 *м*^{2}) × × (1 *сек*)]
Ускорение линейное	метр на секунду в квадрате	*м/сек*^{2}	(1 *м*) : (1 *сек*^{2})
Ускорение угловое	радиан на секунду в квадрате	*рад/сек*^{2}	(1 *рад*) : (1 *сек*^{2})
Плотность (объемная масса)	килограмм на кубический метр	*кг/м*^{3}	(1 *кг*) : (1 *м*^{3})
Удельный объем	кубический метр на килограмм	*м*^{3}/*кг*	(1 *м*^{3}) : (1 *кг*)
Объемный расход	кубический метр в секунду	*м*^{3}/*сек*	(1 *м*^{3}) : (1 *сек*)

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
Массовый расход	Килограмм в секунду	*кг/сек*	(1 *кг*) : (1 *сек*)
Сила (в частности сила тяжести — вес)	ньютон	*н*	(1 *кг*) · (1 *м*) : : (1 $сек^2$)
Удельный вес	ньютон на кубический метр	$н/м^3$	(1 *н*) : (1 $м^3$)
Момент инерции (динамический)	килограмм-метр в квадрате	$кг \cdot м^2$	(1 *кг*) · (1 $м^2$)
Работа; энергия	джоуль	*дж*	(1 *н*) · (1 *м*)
Мощность	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Давление (механическое напряжение)	ньютон на квадратный метр	$н/м^2$	(1 *н*) : (1 $м^2$)
Поверхностное натяжение	ньютон на метр	*н/м*	(1 *н*) : (1 *м*)
Импульс силы	ньютон-секунда	*н · сек*	(1 *н*) · (1 *сек*)
Количество движения	Килограмм-метр на секунду в квадрате	$кг \cdot м/сек^2$	(1 *кг*) · (1 *м*) : : (1 $сек^2$)
Динамическая вязкость	ньютон-секунда на квадратный метр	$н \cdot сек/м^2$	(1 *н*) · (1 *сек*) : : (1 $м^2$)
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	$м^2/сек$	(1 $м^2$) : (1 *сек*)
	Тепловые единицы		
Количество теплоты, термодинамический потенциал (внутренняя энергия, энтальпия и др.)	джоуль	*дж*	(1 *н*) · (1 *м*)
Удельная теплота (химической реакции, фазового превращения), удельная внутренняя энергия, удельная энтальпия	джоуль на килограмм	*дж/кг*	(1 *дж*) : (1 *кг*)
Теплоемкость системы	джоуль на градус	*дж/град*	(1 *дж*) : (1 *град*)
Тепловой поток	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Тепловая мощность (котла, печи, теплообменного аппарата)	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Поверхностная плотность теплового потока	ватт на квадратный метр	$вт/м^2$	(1 *вт*) : (1 $м^2$)
Температурный градиент	градус на метр	*град/м*	(1 *град*) : (1 *м*)
Коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи	ватт на квадратный метр-градус	$вт/(м^2 \times \times град)$	(1 *вт*) : [(1 $м^2$) × × (1 *град*)]
Коэффициент теплопроводности	ватт на метр-градус	$вт/(м \cdot град)$	(1 *вт*) : [(1 *м*) × × 1 *град*)]
	Электрические и магнитные единицы		
Работа и энергия	джоуль	*дж*	(1 *н*) · (1 *м*)
Активная мощность	ватт	*вт*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Полная мощность	вольт-ампер	*ва*	(1 *в*) : (1 *а*)

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	Размер единицы
Реактнвиая мощность	вольт-ампер реактнвиый (вар)	*вар*	(1 *в*) · (1 *а*)
Колнчество электричества (электрнческий заряд)	кулон или ампер-секунда	*к* нлн *а* · *сек*	(1*а*) · (1 *сек*)
Плотность тока	ампер иа квадратный метр	*а/м²*	(1*а*) : (1 *м²*)
Поток электрнческого смещения (поток электрнческой индукцнн)	кулои	*к*	(1 *а*) · (1 *сек*)
Электрическое смещеиие (электрнческая индукция)	кулои иа квадратный метр	*к/м²*	(1 *к*) : (1 *м²*)
Лннейная плотность электрнческого заряда	кулои на метр	*к/м*	(1 *к*) : (1 *м*)
Разность электрнческих потенциалов, электрическое напряжеине, электродвижущая снла	вольт	*в*	(1 *вт*) : (1 *а*)
Напряженность электрнческого поля	вольт на метр	*в/м*	(1 *в*) : (1 *м*)
Электрнческое сопротнвление	ом	*ом*	(1 *в*) : (1 *а*)
Удельное электрическое сопротнвленне	ом-метр	*ом* · *м*	(1 *ом*) · (1 *м*)
Электрнческая проводнмость	снмеис	*сим*	(1 *а*) : (1 *в*)
Удельная электрическая проводимость	снмеис на метр	*сим/м*	(1 *сим*) : (1 *м*)
Электрнческая емкость	фарада	*ф*	(1 *к*) : (1 *в*)
Объемная плотиость электрнческого заряда	кулои на кубическнй метр	*к/м³*	(1 *к*) : (1 *м³*)
Электрнческнй момент диполя	кулон-метр	*к* · *м*	(1 *к*) · (1 *м*)
Электрнческая постоянная	фарада на метр	*ф/м*	(1 *ф*) : (1 *м*)
Магнитный поток	вебер	*вб*	(1 *к*) · (1 *ом*)
Магннтная индукция	тесла нли вебер на квадратиый метр	*тл* *вб/м²*	(1 *вб*) : (1 *м²*)
Индуктнвность и взаимная индуктнвность	генри	*гн*	(1 *вб*) : (1 *а*)
Магнитодвижущая сила и разность магнитных потенциалов	ампер или ампервиток	*а* *ав*	(1 *а*)
Напряжениость магинтного поля	ампер иа метр нлн ампервиток на метр	*а/м* *ав/м*	(1 *а*) : (1 *м*)
Магнитное сопротнвление	ампер на вебер нлн ампервнток иа вебер	*а/вб* *ав/вб*	(1 *а*) : (1 *вб*)
Магнитная постоянная	генрн на метр	*гн/м*	(1 *гн*) : (1 *м*)

Таблица I.2

Приставки для образования кратных и дольных единиц (ГОСТ 7663—55)

Приставка	Обозначения: русские	Обозначения: латинские или греческие	Множитель, на который умножаются единицы системы СИ	Приставка	Обозначения: русские	Обозначения: латинские или греческие	Множитель, на который умножаются единицы системы СИ
Тера	*Т*	T	10^{12}	Санти	*с*	c	10^{-2}
Гига	*Г*	G	10^{9}	Милли	*м*	m	10^{-3}
Мега	*М*	M	10^{6}	Микро	*мк*	μ	10^{-6}
Кило	*к*	k	10^{3}	Нано	*н*	n	10^{-9}
Гекто	*г*	h	10^{2}	Пико	*п*	p	10^{-12}
Дека	*да*	da	10	Фемто *	*ф*	f	10^{-15}
Деци	*д*	d	10^{-1}	Атто *	*а*	a	10^{-18}

* По решению Международного союза чистой и прикладной физики (1960 г.)

Таблица I.3

Пересчетные значения некоторых единиц измерения

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ
Единицы длины	
Микрон (*мк*)	1 микрометр (*мкм*) $= 10^{-6}$ *м*
Ангстрем (Å)	0,1 *нм* $= 1 \cdot 10^{-10}$ *м*
Единица площади	
Гектар (*га*)	10^4 *м*^{2}
Единица объема	
Литр (*л*)	$1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ *м*^{3} = 1,000028 *дм*^{3}
Единицы массы	
Тонна (*т*)	10^3 *кг*
Центнер (*ц*)	100 *кг*
Единицы времени	
Сутки	86400 *сек*
Час	3600 *сек*
Минута	60 *сек*
Единицы плоского угла	
Градус (°)	$\frac{\pi}{180}$ *рад* = 0,0174533 *рад*
Минута (′)	$\frac{\pi}{108} \cdot 10^{-2}$ *рад* $= 2{,}90888 \cdot 10^{-4}$ *рад*

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ
Секунда (″)	$\frac{\pi}{648} \cdot 10^{-3}$ *рад* $= 4{,}84814 \cdot 10^{-6}$ *рад*
Оборот	2π *рад* = 6,283185 *рад*
Прямой угол	$\frac{\pi}{2}$ *рад* = 1,5708 *рад*
Единицы частоты	
Оборот в минуту (*об/мин*)	1/60 *гц*
Килогерц (*кгц*)	1000 *гц*
Период в секунду; Колебание в секунду; Оборот в секунду (*об/сек*)	1 *гц*
Единицы угловой скорости	
Оборот в минуту (*об/мин*)	$\frac{\pi}{30}$ *рад/сек*

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ
Оборот в секунду (*об/сек*)	2π *рад/сек*
Градус в секунду (°/*сек*)	$\frac{\pi}{180}$ *рад/сек*
Единицы линейной скорости	
1 *м/мин*	0,0167 *м/сек*
1 *м/ч*	$278 \cdot 10^{-6}$ *м/сек*
1 *км/ч*	0,278 *м/сек*
1 *см/сек*	0,01 *м/сек*
Единица линейного ускорения	
1 *см/сек*^{2}	0,01 *м/сек*^{2}
Единицы плотности	
1 *т/м*^{3}, 1 *кг/дм*^{3}, 1 *г/см*^{3}	1000 *кг/м*^{3}
1 *кГ · сек*^{2}*/м*^{4}	9,80665 *кг/м*^{3}
1 *кг/л*, 1 *г/мл*	999,972 *кг/м*^{3}
Единица измерения температуры	
1° С	1° К
Единицы массового расхода	
1 *кг/ч*	$278 \cdot 10^{-6}$ *кг/сек*
1 *кг/мин*	$16{,}67 \cdot 10^{-3}$ *кг/сек*
1 *т/ч*	0,278 *кг/сек*
1 *г/сек*	10^{-3} *кг/сек*
Единицы объемного расхода	
1 *м*^{3}*/ч*	$278 \cdot 10^{-6}$ *м*^{3}*/сек*
1 *л/ч*	$278 \cdot 10^{-9}$ *м*^{3}*/сек*
1 *л/мин*	$16{,}67 \cdot 10^{-6}$ *м*^{3}*/сек*
1 *дм*^{3}*/сек*	10^{-3} *м*^{3}*/сек*
1 *л/сек*	$1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ *м*^{3}*/сек*
1 *см*^{3}*/сек*	10^{-6} *м*^{3}*/сек*
Единицы силы (в частности веса, т. е. силы тяжести)	
1 *кГ(кгс)*	9,80665 *н*
1 *Т(тс)*	9806,65 *н*
Дина (*дин*)	10^{-5} *н*

Метрические (внесистемные)	Единицы СИ
Единицы давления (механического напряжения)	
1 *бар*	10^{5} *н/м*^{2}
1 *дин/см*^{2}	0,1 *н/м*^{2}
1 *кГ/см*^{2}, 1 *ат* (атмосфера техническая	98066,5 *н/м*^{2}
1 *атм* (атмосфера физическая)	101325 *н/м*^{2}
1 *кГ/м*^{2}	9,80665 *н/м*^{2}
1 *кГ/мм*^{2}	$9{,}80665 \cdot 10^{6}$ *н/м*^{2}
1 *мм рт. ст.*	133,322 *н/м*^{2}
1 *мм вод. ст.*	9,80665 *н/м*^{2}
Единицы работы и энергии	
1 *кГ · м* (*кгс·м*)	9,80665 *дж*
1 *эрг*	10^{-7} *дж*
1 *вт · ч*	3600 *дж*
1 *квт · ч*	$3{,}6 \cdot 10^{6}$ *дж*
1 *кал*	4,1868 *дж*
1 *ккал*	4186,8 *дж*
Единицы мощности	
1 *кГ · м/сек*	9,80665 *вт*
1 *л. с.*	735,499 *вт*
1 *эрг/сек*	10^{-7} *вт*
1 *ккал/ч*	1,163 *вт*
1 *кал/сек*	4,1868 *вт*
1 *квт*	1000 *вт*
Электрические и магнитные единицы	
1 *в · сек*	1 *вб*
1 *в · ч*	3600 *вб*
1 *в/см*	100 *в/м*
1 *а · ч*	3600 *к*
1 *мкс* (максвелл)	10^{-8} *вб*
1 *гс* (гаусс)	10^{-4} *тл*
1 *гб* (гильберт)	$\frac{10}{4\pi}$ *а*
1 *э* (эрстед)	$\frac{1}{4\pi} 10^{3}$ *а/м*
1 *а/см*	100 *а/м*
1 *ом* (магнитный)	$\frac{10^{9}}{4\pi}$ *а/вб*
1 *ком*	10^{3} *ом*

Материал	Электрическая прочность, *кв/мм*	Диэлектрическая проницаемость	tg δ при $f = 50$ *гц* и $t = 20°$ C	Удельное электрическое сопротивление при $t = 20°$ C, *ом·см*
Асбестовая бумага	2—5	—	—	10^{6}
Асбобакелит	6—14	20—25	30—60	10^{10}
Асфальт естественный	13—16	2—4	1—5	10^{14}
Базальт	3—6	9—12	1,7—2	—
Бакелитовые цилиндры	10—15	3,8—5	0,5—1,7	10^{10}
Бетон сухой	—	—	—	—
Бумага кабельная сухая	6—9	2,3—3,5	—	10^{13}
Бумага кабельная, пропитанная маслом	10—25	3,4—3,7	—	—
Воздух при температуре 20° C и давлении 760 *мм рт. ст.*	3—4	1,0	—	—
Воск пчелиный	8—15	2,8—2,9	—	10^{13}
Гетинакс А и Б	10—15	7—8	4—10	10^{9}
Дельта-древесина ДСПЭ-10	5—10	5—6	3,5	10^{11}
Дуб парафинированный	4—7	4,5—5	—	10^{12}
Бук сухой	5—6	3—3,5	—	10^{11}
Береза сухая	3—5	2—3	—	10^{10}
Карболит	10—12	3—5	—	10^{11}
Лакоткань	30—40	3,5—5	—	10^{11}
Масло трансформаторное	5—18	2—2,5	0,2—1	10^{12}
Миканит	15—30	4,6—6	—	10^{15}
Мрамор	3,5—5,5	8—10	0,5—10	10^{9}
Оргстекло (метакрил)	17—18	3,2—3,6	5	10^{13}
Парафин	15—30	2,2—2,3	—	10^{15}
Пластмасса К-21-22	13	—	9	10^{12}
Пластмасса К-2-11-4	12	—	1,5	10^{12}
Полихлорвинил (винипласт) листовой	45	3,1—3,5	1,5—2	10^{12}
Резина листовая	10—15	2,6—3,5	0,5—2	10^{14}
Слюда мусковит	120—200	6—7	0,01—0,02	10^{14}
Слюда флогопит	60—120	4—5,5	0,1—0,2	10^{12}
Стеатит	20—30	5,5—6,5	0,2	10^{15}
Стекло	10—40	5,5—10	0,1—0,5	10^{11}
Текстолит А и Б	2—6	—	—	10^{10}
Тиконд	15—20	60—80	0,2	10^{14}
Фарфор	18—25	5—7,5	7—2,5	10^{14}
Фибра	4—11	3,5	—	10^{10}
Шифер	1,5—3	4—16	—	10^{7}
Церезин	15	2,1—2,3	—	10^{16}
Эбонит	8—10	2,4—4,5	1—2	10^{17}
Электрокартон ЭМ	8—10	2,5—4,0	—	10^{9}

Таблица 1.4

изоляционных материалов

Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Допустимая рабочая температура, °С	Плотность, $г/см^3$	Механическая прочность, $кг/см^2$			
			Разрыв	Изгиб	Сжатие	Удар
—	450	1,0—1,4	10	—	—	—
0,5	—	1,6—1,8	300	700	900	9
—	—	1,1—1,3	—	—	—	—
—	—	2,7—3,2	700	—	6000	—
0,5—1,6	120	1,05—1,24	450	800	550	—
—	—	1,8—2,4	—	300	—	5
—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,00121	—	—	—	—
—	—	0,96	—	—	—	—
2,8	150	1,3—1,4	900	1150	—	16—20
2	200	1,25—1,4	2400	—	1600	70
—	—	0,76	1000	600	300	—
—	—	0,73	1300	670	350	—
—	—	0,64	—	—	—	—
—	120	1,1—1,2	—	—	—	—
0,08	105	1,1—1,3	200	—	—	—
—	95	0,85—0,89	—	—	—	—
—	—	2,2	—	—	—	—
0,2	100—200	2,7	—	200	1400	—
0,09	60	1,18	650	500	1100	17
—	—	0,9—0,93	—	—	—	—
0,25	—	1,4	300	500	1400	4,2
0,2	—	1,4	—	400	—	2,0
0,01	65	1,38	600	1000	1000	160
—	—	1,3—1,8	—	—	—	—
0	500	2,8—3,2	28	—	5000	—
0	900	2,5—2,7	18	—	2500	—
0	—	2,6—2,8	650	1300	9500	—
0	—	2,5—2,7	600	—	13000	—
2—2,5	120—130	1,3—1,4	600	1000	2000	25
—	—	3,8—3,9	—	1100	—	—
0—0,05	—	2,3—2,7	350	500	1400	20
—	—	1,2—1,4	—	—	—	—
0,6	200	2,7—2,9	200	500	900	—
—	—	0,8—0,9	—	—	—	—
—	60	1,15—1,3	—	—	—	—
—	90	0,9—1,1	—	—	—	—

Таблица 1.5

Свойства проводниковых материалов

Материал	Удельное сопротивление при $t = 20°C$, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент электрического сопротивления, $ом \cdot град^{-1}$	Температурный коэффициент линейного расширения, $м \cdot град^{-1}$	Температура плавления, °С	Временное сопротивление на разрыв, $кг/мм^2$	Твердость по Бринелю H_B, $кг/мм^2$	Плотность, $г/см^3$
Алдрей	0,031—0,035	0,004	—	1000	30—34	35	2,8
Алюминий	0,029	0,004	$0{,}024 \cdot 10^{-3}$	659	14—22	20	2,7
Бронза	0,021—0,04	0,004	$0{,}018 \cdot 10^{-3}$	900	50—60	60—70	8,8—8,9
Вольфрам	0,056	0,0046	$0{,}0045 \cdot 10^{-3}$	3500	415	350	18,7
Висмут	1,2	0,004	$0{,}013 \cdot 10^{-3}$	271	—	—	9,8
Графит	13,5	0,008	—	—	—	—	1,9—2,3
Кадмий	0,076	0,004	$0{,}029 \cdot 10^{-3}$	321	—	16	8,6
Константан	0,4—0,51	0,00005	$0{,}015 \cdot 10^{-3}$	1200	40	—	8,8
Латунь	0,05	0,002	$0{,}018 \cdot 10^{-3}$	960	40	60—100	8,4—8,7
Медь	0,0175	0,004	$0{,}017 \cdot 10^{-3}$	1083	25—40	35	8,9
Магний	0,04	0,0038	$0{,}026 \cdot 10^{-3}$	650	20	25	1,74
Манганин	0,42	0,000015	—	960	55	—	8,14
Никель	0,09—0,12	0,006	$0{,}013 \cdot 10^{-3}$	1452	30—50	80	8,8
Никелин	0,4—0,44	0,0003	—	1060	—	—	11,2
Нихром	1,1	0,0003	—	1375	70	170	8,2
Олово	0,12	0,0044	$0{,}026 \cdot 10^{-3}$	232	3—5	5	7,3
Платина	0,09—0,11	0,00247	$0{,}009 \cdot 10^{-3}$	1770	21—35	55	21,2
Ртуть	0,95	0,0027	$0{,}09 \cdot 10^{-3}$	—38,9	—	—	13,6
Серебро	0,016	0,004	$0{,}019 \cdot 10^{-3}$	961	28—30	25	10,5
Сталь	0,13—0,3	0,005	$0{,}012 \cdot 10^{-3}$	1500	45—150	40—100	7,85
Свинец	0,217	0,00411	$0{,}029 \cdot 10^{-3}$	327	1,2—2,3	4	11,3
Сурьма	0,41	0,0037	—	630	—	30	6,67
Фехраль	1,2	0,0002	—	1450	—	90	7,6
Хромель	1,3	0,00004	—	1500	80	90	7,1
Цинк	0,06	0,0039	$0{,}029 \cdot 10^{-3}$	419	15—20	30	7,1
Чугун	0,5	0,0009	$0{,}0104 \cdot 10^{-3}$	1200	12—20	60	7,2
Железо	0,1—0,14	0,0045	—	1530	44	—	7,85

Таблица 1.6

Значения электрохимического эквивалента *K*

Материал	K, мг/а·сек	Материал	K, мг/а·сек	Материал	K, мг/а·сек
Медь	0,33	Цинк	0,34	Серебро	1,1183
Никель	0,30	Золото	0,68	Свинец	1,0718
Железо	0,29	Алюминий	0,093	Платина	1,009

Таблица 1.7

Значения математических величин, применяемых в технических расчетах

Условное обозначение	Числовое выражение	Условное обозначение	Числовое выражение	Условное обозначение	Числовое выражение
π	3,14	$\lg g$	0,99167	$\ln N$	$2{,}3026 \lg N$
$\frac{\pi}{4}$	0,78540	$\sqrt[3]{2\pi}$	1,84526	$\lg N$	$0{,}4343 \ln N$
π^2	9,86960	$\sqrt[3]{\frac{\pi}{2}}$	1,16245	$\varphi_{рад}$	$\frac{\pi}{180}\varphi^\circ = 0{,}01745\varphi^\circ$
π^3	31,00628	$\sqrt[3]{\frac{2}{\pi}}$	0,86025	$\sin 30^\circ$	$\cos 60^\circ = 0{,}5$
$\frac{1}{\pi}$	0,31830	$\sqrt[3]{\pi}$	1,46459	$\sin 45^\circ$	$\cos 45^\circ = 0{,}5\sqrt{2}$
$\frac{1}{\pi^2}$	0,10130	$\pi\sqrt{2}$	4,44288	$\sin 60^\circ$	$\cos 30^\circ = 0{,}5\sqrt{3}$
$\sqrt{\pi}$	1,77245	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$	0,79790	$\mathrm{tg}\, 30^\circ$	$\mathrm{ctg}\, 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$
$\sqrt{2\pi}$	2,50663	$\pi\sqrt{\pi}$	5,56883	$\mathrm{tg}\, 60^\circ$	$\mathrm{ctg}\, 30^\circ = \sqrt{3}$
$\sqrt{\frac{\pi}{2}}$	1,25331	$\lg \pi$	0,49715	$\sqrt{2}$	1,4142
$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0,79788	e	2,71828	$\sqrt{3}$	1,7321
g	9,81	$\frac{1}{e}$	0,36788	$e^{\pm jx}$	$\cos x \mp j \sin x$
g^2	96,2361	e^2	7,38906		
$\sqrt{g}$	3,13209	$\frac{1}{e^2}$	0,13533	$e^{\pm j90^\circ}$	$\pm j$
$\sqrt{2g}$	4,42945	$\sqrt{e}$	1,64872	e^{j120°	$a = -0{,}5 + j0{,}5\sqrt{3}$
$\frac{1}{2g}$	0,05097	$\sqrt[3]{e}$	1,39561	e^{j240°	$a^2 = -0{,}5 - j0{,}5\sqrt{3}$
$2\sqrt{g}$	6,26418	$\lg e$	0,43429		

Таблица 1.8

Значения тригонометрических функций
(для расчета коэффициента мощности от 0,5 до 1,0)

cos φ	tg φ	sin φ	Угол φ	cos φ	tg φ	sin φ	Угол φ
1	0	0	0°	0,74	0,673	0,909	42° 16′
0,99	0,143	0,141	8° 06′	0,73	0,683	0,936	43° 07′
0,98	0,203	0,199	11° 29′	0,72	0,694	0,963	43° 57′
0,97	0,251	0,243	14° 04′	0,71	0,704	0,992	44° 46′
0,96	0,292	0,280	16° 16′	0,70	0,714	1,020	45° 34′
0,95	0,329	0,312	18° 12′	0,69	0,724	1,049	46° 22′
0,94	0,363	0,341	19° 57′	0,68	0,733	1,078	47° 09′
0,93	0,395	0,368	21° 34′	0,67	0,742	1,108	47° 56′
0,92	0,426	0,392	23° 04′	0,66	0,751	1,138	48° 44′
0,91	0,456	0,415	24° 30′	0,65	0,759	1,168	49° 27′
0,90	0,484	0,436	25° 51′	0,64	0,768	1,201	50° 12′
0,89	0,512	0,456	27° 08′	0,63	0,776	1,233	50° 57′
0,88	0,540	0,475	28° 21′	0,62	0,785	1,266	51° 41′
0,87	0,567	0,493	29° 32′	0,61	0,792	1,299	52° 25′
0,86	0,593	0,510	30° 41′	0,60	0,800	1,334	53° 08′
0,85	0,620	0,527	31° 47′	0,59	0,807	1,369	53° 51′
0,84	0,646	0,543	32° 52′	0,58	0,815	1,405	54° 33′
0,83	0,672	0,558	33° 54′	0,57	0,822	1,442	55° 15′
0,82	0,698	0,572	34° 55′	0,56	0,829	1,480	55° 57′
0,81	0,724	0,586	35° 54′	0,55	0,835	1,519	56° 38′
0,80	0,750	0,600	36° 52′	0,54	0,842	1,559	57° 19′
0,79	0,776	0,613	37° 49′	0,53	0,848	1,600	58° 00′
0,78	0,802	0,626	38° 44′	0,52	0,854	1,643	58° 40′
0,77	0,828	0,638	39° 39′	0,51	0,860	1,686	59° 20′
0,76	0,855	0,650	40° 32′	0,50	0,866	1,732	60° 00′
0,75	0,882	0,661	41° 25′				

Таблица I.9

Условные графические обозначения в электрических схемах (ГОСТ 7624—62)

№ п.п.	Наименование	Обозначение
1	Ток постоянный. Напряжение постоянное	—
2	Ток переменный. Напряжение переменное	~
3	Полярность отрицательная	−
4	Полярность положительная	+
5	Соединение электрическое металлическое, разъемное и неразъемное. Общее обозначение	•
6	Примечания. 1. В схемах энергопитания для изображения разъемного и неразъемного соединения допускается использовать следующее обозначение	○
	2. Если необходимо подчеркнуть, что соединение является разъемным, должно быть использовано следующее обозначение	Ø
7	Элемент нагревательный	
8	Вентиль. Общее обозначение	
9	Сопротивление эквивалентных схем замещения: а) активное	R
	б) реактивное	X

№ п. п.	Наименование	Обозначение
9	в) полное	Z
	г) индуктивное	X_L X_L
	д) емкостное	X_C X_C
10	Привод: а) общее обозначение	или
	б) ручной	
	в) с автоматическим возвратом	
	г) механический	
	д) с электродвигателем	Д
	е) электромагнитный	
	ж) с механизмом свободного расцепления	
11	Провод, кабель, шина электрической цепи. Общее обозначение	
12	Цепь из двух, трех и n проводов, кабелей, шин	Однолинейное Многолинейное

№ п. п.	Наименование	Обозначение
12		n, n
13	Цепь электрическая четырехпроводная. Провода четырехпроводной трехфазной электрической цепи	
14	Провода, кабели, шины пересекающиеся, электрически не соединенные	
15	Провода, кабели, шины пересекающиеся, электрически соединенные	
16	Ответвление проводов, кабелей, шин: а) одного провода, кабеля, шины	
	б) двух проводов, кабелей, шин	или
17	Провод или кабель экранированные	
	Примечание. Знак экранирования следует наносить на изображение провода или кабеля в начале и в конце его, а при необходимости и в промежутках между началом и концом. При частичном экранировании провода следует использовать обозначение	
18	Провод скрученный (шнур)	Однолинейное Многолинейное

№ п. п.	Наименование	Обозначение
19	Муфта кабельная: а) концевая	
	б) соединительная	
	в) для одного ответвления	
	г) для двух ответвлений	
20	Повреждение изоляции: а) между проводами	
	б) на корпус	
	в) на землю	
	Машины вращающиеся электрические	
21	Машина трехфазная переменного тока с короткозамкнутым ротором	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
22	Обмотки статора и ротора электрической машины: а) соединение в звезду	
	б) соединение в треугольник	
23	Статор с трехфазной распределенной обмоткой: а) соединенной в треугольник	Δ
	б) соединенной в звезду	Y
24	Машина вращающаяся. Общее обозначение. Примечание. Внутри окружности допускается указывать следующие данные: а) род машины (генератор — Г, двигатель — Д, возбудитель — В, тахогенератор — ТГ, сельсин — С и др.); б) род тока; в) число фаз или вид соединения обмоток	
	Например: генератор трехфазный	Г 3~

№ п. п.	Наименование	Обозначение
24	Электродвигатель трехфазный с соединением обмоток статора в звезду	Д
25	Машина асинхронная трехфазная, с фазным ротором, обмотка которого соединена в звезду; обмотка статора соединена в треугольник	Упрощенное; Развернутое
26	Машина асинхронная трехфазная с шестью выводами или концами фаз обмотки статора и короткозамкнутым ротором	
27	Сельсин-датчик, сельсин-приемник контактные однофазные: а) с обмоткой возбуждения на статоре и с обмоткой синхронизации на роторе	
	б) с обмоткой возбуждения на явно выраженных полюсах ротора и с обмоткой синхронизации на статоре	

№ п. п	Наименование	Обозначение
27	в) с распределенной обмоткой возбуждения на роторе и обмоткой синхронизации на статоре	
28	Сельсин дифференциальный контактный	
29	Сельсин-датчик, сельсин-приемник бесконтактные	
30	Машина синхронная трехфазная явнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе; обмотка статора соединена в звезду с выведенной нейтральной (средней) точкой	
31	Машина синхронная трехфазная неявнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе; обмотка статора соединена в треугольник	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
32	Машина постоянного тока с независимым возбуждением	
33	Машина постоянного тока с последовательным возбуждением	
	Примечание. Расположение обмоток в обозначениях машин постоянного тока не устанавливается и может быть выполнено следующим образом	или
34	Машина постоянного тока с параллельным возбуждением	
35	Машина постоянного тока со смешанным возбуждением	
36	Двигатель постоянного тока реверсивный с двумя последовательными обмотками возбуждения	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
37	Усилитель электромашинный с поперечным потоком и несколькими (тремя) обмотками управления	
38	Усилитель электромашинный с продольным потоком и несколькими (тремя) обмотками управления	
39	Двигатель коллекторный однофазный последовательного возбуждения	
	Источники тока электрохимические и термические	
40	Элемент гальванический или аккумуляторный Примечание. Допускается знаки полярности не указывать	+ −
41	Батарея из аккумуляторных элементов с двойным элементным коммутатором (например, напряжение 120 *в*, емкость 840 *а. ч*)	120 в / 840 а ч
42	Термоэлемент (термопара) Примечание. Знаки полярности допускается не указывать	+ −
	Приборы электроизмерительные	
43	Приборы измерительные: а) показывающий	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
43	б) регистрирующий	□
	в) интегрирующий (например, счетчик)	
44	Амперметр	(A)
45	Вольтметр	(V)
46	Вольтамперметр (измеритель мощности)	(VA)
47	Ваттметр	(W)
48	Варметр	(var)
49	Микроамперметр	(μA)
50	Миллиамперметр	(mA)
51	Милливольтметр	(mV)
52	Омметр	(Ω)
53	Мегомметр	(MΩ)

№ п п.	Наименование	Обозначение
54	Частотомер	(Hz)
55	Волномер	(λ)
56	Фазометр	(φ)
57	Счетчик ампер-часов	Ah
58	Счетчик ватт-часов	Wh
59	Счетчик вольт-ампер-часов реактивный	varh
60	Гальванометр	(G)
61	Синхроноскоп	(SyN)
62	Осциллоскоп	(OSC)
63	Тахометр	(n)
64	Термопреобразователь: а) бесконтактный	– +

№ п. п.	Наименование	Обозначение
64	б) контактный	
65	Вибратор тока или напряжения магнитоэлектрического осциллографа	
66	Осциллограф магнитоэлектрический	

Разрядники и предохранители

67	Промежуток искровый защитный	
68	Разрядник. Общее обозначение	
	Примечание. Если необходимо уточнить тип разрядника, допускается применять следующие обозначения: а) разрядник трубчатый	
	б) разрядник вентильный и магнитовентильный	
	в) шаровой	
	г) роговой	

№ п п	Наименование	Обозначение
69	Предохранитель пробивной	
70	Предохранитель плавкий. Общее обозначение	
71	Предохранитель с сигнализирующим устройством	
72	Предохранитель самовосстанавливающийся	
	Контакты	
73	Контакт выключателя и переключателя: а) замыкающий	
	б) размыкающий	
	в) переключающий	
74	При изображении выключателей и переключателей со сложной схемой коммутации допускается применять следующие обозначения контактов: а) замыкающий	
	б) размыкающий	

№ п. п	Наименование	Обозначение
75	При сложных схемах коммутации переключателей допускается использовать конструктивный способ изображеиия, напрнмер, следующего внда	1 2 3 4
76	Контакт с безобрывным переключателем	
77	Контакт реле: а) замыкающий	
	б) размыкающнй	
	в) переключающнй	
	г) с безобрывиым переключеннем	
78	Контакт контактора, пускателя, силового контроллера: а) замыкающий	
	б) размыкающнй	
	в) переключающнй	
	г) с безобрывиым переключеиием	
79	Контакты коитакторов, пускателей, контроллеров в сложиых схемах коммутацнн: а) замыкающий	

№ п п	Наименование	Обозначение
79	б) размыкающий	
80	Контакт реле и контактора с указанием выдержки времени на контакте. Контакт замыкающий с выдержкой времени: а) при замыкании	
	б) при размыкании	
	в) при замыкании и размыкании	
81	Контакт реле и контактора с указанием выдержки времени на контакте. Контакт размыкающий с выдержкой времени: а) при замыкании	
	б) при размыкании	
	в) при замыкании и размыкании	
82	Контакт с гашением. Общее обозначение а) замыкающий	
	б) размыкающий	
83	Контакт остающийся: а) замыкающий	
	б) размыкающий	
84	Контакт импульсный (проскальзывающий): а) замыкание при движении в обе стороны	
	б) замыкание при движении по направлению стрелки	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
	Выключатели и переключатели	
85	Выключатель одиополюсный	
86	Выключатель с одним замыкающнм н двумя размыкающнмн контактамн	
87	Выключатель многополюсный (например, четырехполюсный)	Однолинейное Многолинейное
88	Переключатель однополюсный иа два положения	
89	Переключатель на два направлення (двухполюсный): а) на два положения без размыкания цепи прн переходе с одного контакта на другой	
	б) на три положения (третье положение нейтральное)	
90	Переключатель на четыре цепи на трн положення (третье положение нейтральное)	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
91	Переключатель цепи управления многопозиционный. Размыкающий контакт отключается при повороте вправо (*В*) в положения *1* и *2* и при повороте влево (*Н*) в положение *2*. Контакт остается включенным в положении *1* при повороте влево	Н В / 2 1 0 1 2
	Примечание. Если переключатель в нескольких соседних положениях остается включенным, допускается вместо зачерненных точек использовать сплошную линию, которая соединяет указанные положения включения	1 2 3 4 5
92	Переключатель цепи управления на три положения с фиксацией переключающего механизма в нейтральном положении. Замыкающий контакт включается при повороте вправо (*В*) или влево (*Н*) и отключается после возврата переключающего механизма в нейтральное положение	Н 0 В
93	Переключатель цепи управления на три положения с пружинным возвратом в нейтральное положение 0 с остающимися контактами: контакт включается при повороте вправо на автоматическую работу *А* и остается включенным после возврата рукоятки в нейтральное положение; контакт включается при повороте влево на ручную работу *Р* и отключается после возврата рукоятки в нейтральное положение	Р 0 А
94	Переключатель цепи управления на четыре направления на три положения (например, кулачковый переключатель)	1 2 3

№ п. п.	Наименование	Обозначение
95	Контроллер силовой на два рабочих положения в каждую сторону на шесть направлений. Два контакта без гашения — размыкающие; три контакта с гашением — замыкающие; один контакт с гашением — размыкающий	
96	Контроллер силовой на три положения на два направления, один из контактов которого замыкается раньше, чем размыкается другой	

Выключатели высоковольтные и разъединители

97	Разъединитель однополюсный	
98	Короткозамыкатель	
99	Отделитель	
100	Выключатель автоматический воздушный. Общее обозначение	
101	Выключатель мощности автоматический	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
102	Выключатель высокого напряжения трехполюсный	Однолинейное Многолинейное
103	Выключатель высокого напряжения в схемах энергоснабжения	ВМГ
	Кнопки	
104	Кнопка с самовозвратом с замыкающим контактом	
105	Кнопка с самовозвратом с размыкающим контактом	
106	Кнопка с самовозвратом с одним замыкающим и одним размыкающим контактами	
107	Кнопка с защелкой с ручным возвратом от дополнительной кнопки с замыкающим контактом	
108	Кнопка с защелкой с электромагнитным возвратом с замыкающим контактом. Катушка возврата изображается отдельно	
109	Кнопка с самовозвратом с двумя замыкающими и одним размыкающим контактами	
	Реле, контакторы и магнитные пускатели	
110	Обмотка реле, контактора и магнитного пускателя	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
110	Примечания. Допускается в прямоугольник вписывать величину сопротивления обмотки реле. Например, обмотка, величина сопротивления которой равна 200 *ом*	200
111	Обмотка реле переменного тока	~
112	Обмотка токовая	I
113	Обмотка напряжения	U
114	Обмотка реле максимального тока	I >
115	Обмотка реле минимального напряжения	U <
116	Обмотка двухобмоточного реле	*или*
117	Обмотки *n*-обмоточного реле	n
118	Обмотка реле бифилярная *B* сопротивлением 100 *ом*	B 100

№ п. п.	Наименование	Обозначение
119	Обмотка электромагнитного реле с указанием выдержки времени на обмотке: а) с замедлением при срабатывании	
	б) с замедлением при отпускании	
120	Обмотка реле, нечувствительного к переменному току	
121	Реле поляризованное двухпозиционное	P
122	Накладка контактная замкнутая	
123	Накладка контактная разомкнутая	
124	Реле: а) тока	Т
	б) напряжения	Н
	в) мощности	М
	г) сопротивления	С

№ п. п.	Наименование	Обозначение
124	д) времени	В
	е) указательное	У
	ж) синхронизации	Сн
	з) промежуточное	П
	и) температурное	Т°
	к) струйное	Ст
	л) газовое	Г
	м) давления	Д
	н) скорости	Ск
125	Реле промежуточное с указателем действия, возвращаемым от руки в нормальное положение	П
126	Реле тока с зависимой выдержкой времени	Т/В

№ п. п.	Наименование	Обозначение
127	Реле тока, в котором указаны контакты	
	Сопротивления	
128	Сопротивление: а) нерегулируемое	
	б) с отводами	
129	Сопротивление регулируемое (реостат): а) общее обозначение	*или*
	б) с разрывом цепи	
	в) без разрыва цепи	
130	Сопротивление регулируемое (потенциометр)	
	Конденсаторы	
131	Конденсатор не регулируемый. Общее обозначение	
132	Конденсатор электролитический полярный	+ –
133	Конденсатор регулируемый	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
	Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы и автотрансформаторы	
134	Начало обмотки (обозначается точкой)	
135	Катушка индуктивности, дроссель без сердечника	
136	Реактор	
137	Трансформатор без сердечника: а) с постоянной связью	
	б) с переменной связью	
138	Трансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	Однолинейное Многолинейное
139	Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником; соединение обмоток: звезда — звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
140	Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником; соединение обмоток: звезда с выведенной нейтральной точкой — треугольник	Однолинейное Многолинейное
141	Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником трехобмоточный; соединение обмоток: звезда с регулированием под нагрузкой — треугольник и звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой	Однолинейное Многолинейное Многолинейное
142	Трансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником; соединение обмоток: звезда на одной обмотке — две обратные звезды с выведенными нейтральными точками на двух других обмотках с уравнительным реактором	Одноли-нейное Многолинейное
143	Автотрансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	Одноли-нейное Многолинейное

№ п. п.	Наименование	Обозначение
144	Автотрансформатор трехфазный с ферромагнитным сердечником с соединением обмоток в звезду	
145	Трансформатор трехфазный поворотный (фазорегулятор)	*Однолинейное* φ; *Многолинейное* φ; *Многолинейное* φ
146	Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой	*Однолинейное* *Многолинейное*
147	Трансформатор тока с двумя сердечниками	*Однолинейное* *Многолинейное*

№ п п	Наименование	Обозначение
148	Трансформатор быстронасыщающийся	
149	Трансформатор напряжения измерительный	
150	Усилитель магнитный с двумя рабочими и общей управляющей обмотками	
151	Усилитель магнитный с параллельным соединением рабочих обмоток и общей управляющей обмоткой	
152	Усилитель магнитный трехфазный с тремя рабочими и четырьмя управляющими обмотками	
	Приборы электровакуумные	
153	Электрод (анод) с использованием вторичной электронной эмиссии	
154	Катод прямого накала. Подогреватель	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
155	Катод фотоэлектронный	
156	Катод жидкий	
	Лампы электронные	
157	Диод: а) прямого накала	
	б) косвенного накала	
158	Диод двойной: а) с общим катодом	
	б) с раздельными катодами	
159	Триод	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
160	Диод двойной — триод	
161	Пентод	
162	Диод двойной — пентод	или
163	Триод — пентод	
164	Триод — гептод	
165	Индикатор электронно-световой	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
	Приборы ионные	
166	Газотрон: а) с одним анодом	
	б) с двумя анодами	
167	Газотрон секционированный (пятисекционный)	
168	Тиратрон с тремя сетками	
169	Стабилитрон	

№ п п	Наименование	Обозначение
170	Стабнлнзатор тока (бареттер)	
171	Вентиль ртутный. Общее обозначенне	
172	Вентнль ртутный управляемый. Общее обозначенне	
173	Игннтрон (с однмм зажнгающим электродом)	
	Фотоэлементы	
174	Фотоэлемент электронный	
175	Фотоэлемент нонный	
176	Умножнтель фотоэлектронный однокаскадный	

№ п. п.	Нанменованне	Обозначенне
	Приборы осветительные	
177	Лампа осветнтельная. Общее обозначенне	
178	Лампа газоразрядная осветнтельиая. Общее обозначенне	
179	Лампа накалнвання сигнальная	
180	Фара. Прожектор	*или*
	Приборы полупроводниковые	
181	Эмнттер *p* с областью *n*	
182	Эмнттер *n* с областью *p*	
183	Днод полупроводнниковый. Вентнль полупроводннковый, состоящнй нз одного нлн ряда последовательно, параллельно нли смешанно соеднненных вентилей. П р н м е ч а н н е. Вершнна треугольнnка указывает направленне нанбольшей проводнмости	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
184	Транзистор точечный и плоскостной типа *p-n-p*	
185	Транзистор точечный и плоскостной типа *n-p-n*	
186	Фотоэлектрический эффект	
187	Фотосопротивление с внутренним фотоэффектом	
188	Фотодиод	
189	Фотоэлемент с запорным слоем	*E*
190	Фототриод типа *p-n-p*	
191	Фототриод типа *n-p-n*	

№ п. п.	Наименование	Обозначение
192	Схемы соединения полупроводниковых вентилей: а) однофазная с нулевым выводом	[diagram] ~ + ~
	б) однофазная мостовая	[diagram] – + ~ ~ или [diagram] ~ + ~ – *или* [diagram] ~ ~ – +

№ п п.	Наименование	Обозначение
192	в) трехфазная мостовая	

Разное

193	Звонок электрический. Общее обозначение	
194	Гудок	
195	Соединение штепсельное разъемное	
196	Штепсель	
197	Гнездо	
198	Обмотка измерительного прибора: а) токовая	
	б) напряжения	

Формулы для определения электротехнических величин

1. Сопротивление проводника омическое (при постояином токе)

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{l}{\gamma S}\ [ом],$$

где ρ — удельиое сопротивление проводиика, *ом · мм²/м*; l — длина проводника, *м*; S — сечение проводника, *мм²*; γ — удельная проводимость, $\gamma = \frac{1}{\rho}$ [*сим/м*] (для меди $\gamma_м = 57$ *сим/м*, алюминия $\gamma_а = 34$ и железа $\gamma_ж = 9$ *сим/м*).

2. Сечение голого круглого провода

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854\ d^2\ [мм^2],$$

где d — диаметр провода, *мм*.

3. Масса 1 *м* обмоточиой медиой проволоки

$$Q = 7d^2\ [г],$$

где d — диаметр проволоки, *мм*. Плотность отожеиной обмоточиой медиой проволоки $Q_м = 8{,}9$ *г*.

4. Сопротивление проводника при температуре, отличиой от 20° C:

$$R_t = R_0 + R_0\alpha(t - t_0),$$

где R_0 — сопротивление проводиика при $t_0 = 20°$ C, *ом*; α — температурный коэффициеит электрического сопротивлеия (для меди $\alpha_м = 0{,}004$, для алюминия $\alpha_а = 0{,}0042$).

5. Сопротивление 1 *км* провода (приближеииая формула) для меди

$$R = \frac{17 + 0{,}08t}{S}\ [ом];$$

для алюминия

$$R = \frac{28{,}6 + 0{,}12t}{S}\ [ом],$$

где t — температура, °C; S — сечеиие провода, *мм²*.

6. Последовательиое соедииеиие приемииков:
общее сопротивлеиие цепи

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n\ [ом],$$

где $R_1 - R_n$ — сопротивление отдельиых приемииков;
общее иапряжеиие сети

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n\ [в],$$

где $U_1 - U_n$ — потери напряжения иа отдельных приемииках.

7. Параллельное соединение приемников:
общее сопротивление цепи

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}} [ом],$$

где $R_1 - R_n$ — сопротивление отдельных приемников;
общий ток цепи

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n [a],$$

где $I_1 - I_n$ — токи, потребляемые отдельными приемниками.

8. Токи при параллельном соединении распределяются между отдельными приемниками обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

9. Индуктивное (реактивное) сопротивление

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \ [ом],$$

где ω — круговая частота, при $f = 50$ *гц* $\omega = 314$ *рад/сек*, f — линейная частота, *гц*; L — индуктивность, *гн*.

10. Емкостное (реактивное) сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} [ом],$$

где C — емкость, *ф*.

11. Полное реактивное сопротивление

$$X = X_L + X_C.$$

12. Полное сопротивление переменному току

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \ [ом],$$

$$Z = \sqrt[3]{R^2 + (X_L + X_C)^2}.$$

13. Индуктивность (коэффициент самоиндукции):
однослойная катушка без стали

$$L = \frac{3{,}95 r^2 n^2 k}{h} 10^{-8} \ [гн],$$

где r — средний радиус витка, *см*; n — число витков; k — коэффициент $\left(\text{при } \frac{h}{r} = 3-6 \text{ имеем } k = 0{,}75; \text{ при } \frac{h}{r} = 1-3 \text{ имеем } k = 0{,}5-0{,}7; \text{ при } \frac{h}{r} = 1-0{,}5 \text{ имеем } k = 0{,}3-0{,}5\right)$; h — высота (длина) катушки, *см*;

многослойная катушка без стали

$$L = \frac{0{,}08D^2n^2}{3D + 9h + 10c} 10^{-8} \ [гн],$$

где D — средний диаметр витка, *см*; c — толщина намотки катушки, *см*;

катушка со сталью

$$L = \frac{1{,}25n^2S\mu}{l} 10^{-8} \ [гн],$$

где S — сечение катушки, *см*²; μ — магнитная проницаемость (для воздуха $\mu = 1$; для стали $\mu = 200—400$); l — длина магнитной цепи, *см*.

14. Индуктивное сопротивление на фазу однофазной или трехфазной воздушной линии

$$X = 0{,}144 \lg \frac{a}{r} + 0{,}016 \ [ом/км],$$

где a — расстояние между осями проводов, *см*; r — радиус поперечного сечения провода, *см*.

При ориентировочных расчетах воздушных линий для величины X можно принимать такие значения: при напряжении до 6 *кв* — 0,35 *ом/км*, при напряжении больше 6 *кв* — 0,4 *ом/км*. При расчетах кабельных линий, если напряжение кабеля до 6 *кв*, $X = 0{,}07$, если напряжение до 10 *кв*, $X = 0{,}08$ *ом/км*.

15. Индуктивность трехфазной линии (без учета транспозиции)

$$L = \left(4{,}6 \lg \frac{D_{ср}}{d} + \mu 0{,}5\right) 10^{-4} \ [гн/км].$$

Здесь d — диаметр провода, *см*; $D_{ср}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами линии, *см*,

$$D_{ср} = \sqrt[3]{a_{1-2}a_{2-3}a_{1-3}},$$

где a_{1-2}, a_{2-3}, a_{1-3} — расстояние между проводами 1; 2; 3, и соответственно 2; 3; 1, *см*.

16. Реактивная мощность конденсатора

$$Q = I_C U\ 10^{-3}\ [квар].$$

Здесь I_C — ток емкости при $f = 50$ *гц*,

$$I_C = \frac{U}{X_C} = 314\ CU\ 10^{-6}\ [a],$$

где U — напряжение сетн, *в*; X_C — емкостное сопротивленне,

$$X_C = \frac{1 \cdot 10^6}{2\pi f C}\ [ом].$$

17. Емкость конденсатора

$$C = \frac{10^6}{2\pi f} \cdot \frac{I_C}{U}\ [мкф],$$

где I_C — ток емкости, *а*; U — напряжение, *в*.

При $f = 50$ *гц*

$$C = \frac{10^6}{314} \cdot \frac{I_C}{U}.$$

18. Общая емкость конденсаторов:
при последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n};$$

при параллельном соединении

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n,$$

где $C_1 - C_n$ — емкость отдельных конденсаторов, включенных в цепь.

19. Емкость трехфазной лннни

$$C_0 = \frac{24 \cdot 10^{-9}}{\lg \frac{D_{ср}}{r}}\ [ф/км],$$

где r — радиус сечения провода (жилы), *см*.

20. Емкостный ток при однополюсном замыкании на землю

$$I_з = 1{,}73 U \omega C_0 l 10^{-6} \simeq \frac{2{,}6 l U}{1000}\ [a],$$

где l — общая протяженность линин, *км*; C_0 — частнчная емкость провода относнтельно землн, *мкф/км*; U — напряженне линии, *в*; $\omega = 2\pi f = 314$.

Для воздушных линий при иапряженнн 6 *кв* $I_з = 1{,}5a$ на 100 *км*; прн напряжеинн 10 *кв* $I_з = 2{,}5a$ на 100 *км*; прн напряженин 30 *кв* $I_з = 10a$ на 100 *км*.

Для кабельных лииий
прн напряжеиин 6 *кв*

$$I_з = \frac{95 + 2{,}84S}{2200 + 6{,}0S} U_{ном} \ [a/км];$$

прн напряженни 10 *кв*

$$I_з = \frac{95 + 1{,}44S}{2200 + 0{,}23S} U_{ном} \ [a/км],$$

где S — сечение кабеля, *мм*²; $U_{ном}$ — номииальное напряженне кабеля, *кв*.

21. Закон Ома для цепи постоянного тока:

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — ток, *а*; R — сопротнвленне, *ом*; U — напряжеине, *в*.

22. Закон Ома для цепи переменного тока с реактнвным сопротивленнем

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Здесь

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

где R — омническое сопротнвлеине, *ом*; X — ннduктнвное сопротнвленне, *ом*.

23. Ток прн последовательном соедннении элементов (гальваническнх)

$$I = \frac{En}{R + rn} \ [в],$$

где E — э. д. с. элемента, *в*; n — количество последовательно соединенных элемеитов; R — внешнее сопротивленне цепн, *ом*; r — внутрениее сопротнвленне элемента, *ом*.

24. Ток прн параллельном соедннеиин элементов

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}.$$

25. Ток при смешанном соединении элементов

$$I = \frac{En}{R + \frac{r \cdot n}{m}},$$

где m — чнсло параллельных групп элементов.

26. Зарядная емкость аккумулятора

$$Q_{\text{з}} = I_{\text{з}} t_{\text{з}}\ [\text{а} \cdot \text{ч}],$$

где $I_{\text{з}}$ — ток зарядный, *а*; $t_{\text{з}}$ — время зарядки, *ч*.

27. Разрядная емкость аккумулятора

$$Q_{\text{р}} = I_{\text{р}} t_{\text{р}}\ [\text{а} \cdot \text{ч}],$$

где $I_{\text{р}}$ — ток разрядный, *а*; $t_{\text{р}}$ — время разряда, *ч*.

28. Коэффициент отдачи аккумулятора

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_{\text{з}}}.$$

29. Количество вещества, отложившегося на электроде,

$$м = kIt\ [\text{мг}],$$

где I — ток, *а*; t — время протекания тока, *сек*; k — электрохимический эквивалент вещества.

30. Электродинамическое действие тока для двух параллельных проводников

$$F = 2{,}04 I_1 I_2 \frac{l}{a} 10^{-8}\ [\text{кг/см}],$$

где I_1, I_2 — ток в проводниках, a; a — расстояние между осями проводников, *см*; l — длина проводника, *см*.

31. Количество тепла, выделяемого при протекании тока:

$$Q = KI^2Rt\ [\text{кал}],$$

где I — ток, *а*; R — сопротивление цепи, *ом*; t — время прохождения тока, *сек*; K — эквивалент тепла, равный 0,24 *кал/дж*.

32. Распределение тока в двух параллельных ветвях цепи переменного тока

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2}{Z_1}.$$

33. Закон электромагнитной индукции для синусоидального тока

$$E = 4{,}44 fwBS10^{-8}\ [\text{в}],$$

или

$$E = Blv \sin \alpha 10^{-8}\ [\text{в}],$$

где E — наведенная э. д. с., *в*; f — частота, *гц*; w — число витков обмотки; B — индукция магнитного поля в стали, *гс*; S — сечение магнитопровода, *см*^{2}; l — активная длина проводника, *см*; v — скорость движения проводника, *см/сек*; $\alpha = \omega t = 2\pi f t$.

34. Частота тока

$$f = \frac{pn}{60},$$

где p — число пар полюсов генератора.

35. Скорость вращающегося магнитного поля машины

$$n = \frac{60f}{p} \ [об/мин].$$

36. Подъемная сила электромагнита

$$P = \left(\frac{B}{5000}\right)^2 S \ [кг],$$

где B — магнитная индукция в воздушном зазоре, *гс*; S — сечение стального сердечника, $см^2$.

37. Ток в цепи переменного тока

$$I = \sqrt{I_а^2 + I_р^2} \ [а],$$

где $I_а$ — активная составляющая тока, *а*, $I_а = I \cos \varphi$; $I_р$ — реактивная составляющая тока, $I_р = I \sin \varphi \ [а]$.

38. Напряжение в цепи переменного тока

$$U = \sqrt{U_а^2 + U_р^2} \ [в],$$

где $U_а$ и $U_р$ — активная и реактивная составляющие напряжения, *в*.

39. Соотношения токов и напряжений в трехфазной системе:
соединение в звезду

$$I_л = I_ф \ [а], \ U_л = 1{,}73 U_ф \ [в];$$

соединение в треугольник

$$I_л = 1{,}73 I_ф \ [а], \ U_л = U_ф \ [в],$$

где $I_л$ — ток линейный; $I_ф$ — ток фазный; $U_л$ — напряжение линейное; $U_ф$ — напряжение фазное.

40. Мощность постоянного тока

$$P = UI \ [вт],$$

где U — напряжение, *в*; I — ток цепи, *а*.

41. Мощность и энергия переменного однофазного тока:
активная мощность

$$P = UI \cos \varphi \ [вт];$$

реактивная мощность

$$Q = UI \sin \varphi \ [\textit{вар}];$$

полная (кажущаяся) мощность

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \ [\textit{ва}];$$

активная энергия

$$W = Pt \ [\textit{вт} \cdot \textit{ч}];$$

реактивная энергия

$$W_р = Qt \ [\textit{вар} \cdot \textit{ч}],$$

где U — напряжение цепи, *в*; I — ток цепи, *а*; t — время протекания тока, *ч*.

42. Мощность и энергия переменного трехфазного тока:
активная мощность

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \ [\textit{вт}];$$

реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \ [\textit{вар}];$$

полная (кажущаяся) мощность

$$S = \sqrt{3} UI \ [\textit{ва}];$$

активная энергия

$$W = Pt \ [\textit{вт} \cdot \textit{ч}];$$

реактивная энергия

$$W_р = Qt \ [\textit{вар} \cdot \textit{ч}],$$

где U — линейное (междуфазное напряжение), *в*; I — линейный ток, *а*, t — время протекания тока, *ч*.

43. Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_а}{U} = \frac{I_а}{I}; \ \cos \varphi = \frac{P}{S};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{W_р}{W} \left[\frac{\textit{вар} \cdot \textit{ч}}{\textit{вт} \cdot \textit{ч}} \right].$$

Примечание. Величину $\cos \varphi$ определяем по значениям $\operatorname{tg} \varphi$ тригонометрических таблиц.

ГЛАВА II

ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

1. Введение

Измерения при испытательно-наладочных работах — одна из наиболее существенных операций, от правильного выполнения которой зависит успех всей работы. При наладке электроустановок чаще всего измеряют следующее: напряжение, ток, мощность, угол сдвига фаз между переменным током и напряжением ($\cos\varphi$), сопротивление постоянному и переменному току, время протекания процессов, температуру, скорость вращения, вибрацию, давление газа или жидкости, расход газа или жидкости и др.

Методы измерения разделяют на прямые и косвенные. В прямых методах измеряемую величину непосредственно сравнивают с мерой, в косвенных — искомую величину не измеряют, а вычисляют по данным измерения других величин, связанных с искомой известным соотношением (например, определение сопротивления по методу вольтметра-амперметра).

Прямые методы:

1) метод непосредственной оценки (измерение вольтметром, амперметром, ваттметром и др.); 2) нулевой метод (измерение сопротивления мостом, э. д. с. — потенциометром и т. п.), 3) дифференциальный метод (измерение разности между искомой и известной величинами); 4) метод замещения (при этом замещение измеряемой величины известной не должно вызывать изменения показаний измерительного прибора).

При выполнении наладочных работ наиболее просты и удобны методы непосредственной оценки, однако точность измерения этими методами не превышает 0,2—0,5% в последней трети шкалы прибора. В некоторых случаях пользуются нулевым методом, точность которого может быть 0,001%.

В зависимости от точности, добротности и конструктивного выполнения измерительные приборы и меры подразделяют на эталонные, лабораторные и технические. Наибольшее распространение в наладочной практике получили лабораторные приборы и меры.

Погрешность измерения

Абсолютной погрешностью измерения ΔA называют разность между найденным значением измеряемой величины $A_{из}$ и действительным ее значением $A_д$:

$$\Delta A = A_{из} - A_д. \quad (II.1)$$

Величину δA, равную абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком, называют абсолютной поправкой измерения:

$$\delta A = -\Delta A. \quad (II.2)$$

Действительное значение измеряемой величины при известной поправке измерения

$$A_д = A_{из} + \delta A. \quad (II.3)$$

Относительной погрешностью измерения ε называют отношение абсолютной погрешности ΔA к действительному значению измеряемой величины $A_д$:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_д} 100\% = \frac{A_{из} - A_д}{A_д} 100\ [\%], \quad (II.4)$$

или

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{из} - \Delta A} 100\ [\%]. \quad (II.5)$$

Приведенной относительной погрешностью измерительного прибора $\varepsilon_{пр}$ называют отношение абсолютной погрешности к разнице между верхним $A_в$ и нижним $A_н$ пределами измерения прибора

$$\varepsilon_{пр} = \frac{\Delta A}{A_в - A_н} 100\ [\%]. \quad (II.6)$$

На паспортной табличке или на шкале измерительного прибора указывают его класс, который предопределяет максимально допустимую величину $\varepsilon_{пр}$. ГОСТ 1845—59 предусматривает следующие классы точности электроизмерительных приборов: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Чтобы точность измерения была в пределах класса, следует соблюдать условия работы прибора, предусмотренные ГОСТом или ТУ (температура окружающего воздуха должна быть близкой к 20°С, частота тока — равной нормальной для прибора, внешние магнитные поля и кратковременные перегрузки не должны превышать допустимых величин и т. п.). На шкале прибора приводят также условные обозначения системы прибора, рода измеряемого тока, испытательного напряжения и других параметров (табл. II.1 и II.2).

Таблица II.1

Обозначение системы прибора

№ п.п.	Система прибора			Обозначение
1	Магнитоэлектрическая	С механической противодействующей силой	Без экрана	
			С магнитным экраном	
		Без механической противодействующей силы	Без экрана	
			С магнитным экраном	
2	Электромагнитная	С механической противодействующей силой	Без экрана	
			С магнитным экраном	
		Без механической противодействующей силы	Без экрана	
			С магнитным экраном	

№ п.п.	Система прибора			Обозначение
3	Электродинамическая без железа	С механической противодействующей силой	Без экрана	
			С магнитным экраном	
		Без механической противодействующей силы	Без экрана	
			С магнитным экраном	
4	Ферродинамическая	С механической противодействующей силой	Без экрана	
			С магнитным экраном	
		Без механической противодействующей силы	Без экрана	
			С магнитным экраном	
5	Индукционная	С механической противодействующей силой	Без экрана	

№ п.п.	Система прибора			Обозначение
5	Индукционная	Без механнческой протнводейству-ющей снлы	С магнитным экраном	
6	Термоэлектрн-ческая	С контактным термопреобразо-вателем	Без экрана	
			С магнитным экраном	
		С нзолированным термопреобразова-телем	Без экрана	
			С магнитным экраном	
7	Вибрационная			
8	Тепловая			
9	Детекторная		Без экрана	
			С магнитным экраном	

№ п.п.	Система прибора		Обозначение
10	Электронная	Без экрана	
		С магнитным экраном	
11	Фотоэлектрическая	Без экрана	
		С магнитным экраном	
12	Электролитическая		
13	Электростатическая		

Таблица II.2

Условные обозначения на шкале прибора

№ п.п.	Наименование		Обозначение
1	Род измеряемого или потребляемого тока	Постоянный	—

№ п.п.	Наименование				Обозначение
1	Род измеряемого или потребляемого тока	Переменный, частотой 50 *гц*	Однофазный		$\sim$
			Трехфазный	Равномерная нагрузка	$\approx$
				Неравномерная нагрузка	$\not\approx$
				4-проводной сети	$\approx$ (тройная)
		Постоянный и переменный			$\simeq$
2	Установка прибора	Вертикальная			$\vert$
		Горизонтальная			$\longrightarrow$
		Наклонная			$\angle 30°$
3	Класс точности				(0,2)
4	Испытательное напряжение				↯ 2 *кв*

№ п.п.	Наименование	Обозначение
5	Положение прибора относительно земного меридиана	N ↑ S
6	Переменный однофазный ток с частотой, не равной 50 *гц*	~500
7	Группа эксплуатации	Б (в треугольнике)
8	Категория защищенности от внешних магнитных полей	III
9	Категория защищенности от внешних электрических полей	III

2. Напряжение и э. д. с.

Напряжение и э. д. с., которые необходимо измерять при испытательно-наладочных работах, весьма разнообразны по величине, роду тока и, иногда, частоте; разнообразны также условия проведения этих измерений и требования к их точности. Наиболее часто напряжение измеряют прямым методом непосредственной оценки с помощью стрелочного прибора — вольтметра.

При измерении средних величин напряжения (от 1 до 500 *в*) в цепях постоянного тока применяют главным образом вольтметры магнитоэлектрической системы непосредственного включения. В цепях переменного тока промышленной частоты при тех же величинах напряжения используют вольтметры электромагнитной системы, реже детекторные и электродинамические.

Сопротивление вольтметра должно быть достаточно большим. В вольтметрах типа Э-59/1, широко применяемых в наладочной практике, сопротивление составляет 133 *ом/в*.

Для увеличения пределов измеряемого напряжения применяют добавочные сопротивления (рис. II. 1), а также трансформаторы напряжения (ТН) переменного и, реже, постоянного тока.

Величину напряжения можно определить по следующим формулам:

при использовании добавочных сопротивлений

$$U = U_в \frac{R_в + R_д}{R_в}; \qquad (II.7)$$

при использовании измерительных трансформаторов

$$U = U_в K_{ТН}, \qquad (II.8)$$

где $U_в$ — напряжение, измеряемое вольтметром, *в*; $R_в$ и $R_д$ — соответственно внутреннее сопротивление вольтметра и добавочное сопротивление, *ом*; $K_{ТН}$ — коэффициент трансформации измерительного трансформатора.

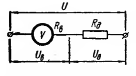


Рис. II. 1. Схема включения вольтметра с добавочным сопротивлением.

Напряжение больше 500—600 *в* может быть измерено также с помощью электростатического вольтметра и шаровых разрядников.

Электромагнитный и магнитоэлектрический амперметры в отдельных случаях могут быть использованы в качестве вольтметров с верхним пределом шкалы

$$U_{пр} = I_{пр} Z_а \, [в], \qquad (II.9)$$

где $I_{пр}$ — верхний предел шкалы амперметра, *а*; $Z_а$ — внутреннее сопротивление амперметра, *ом*.

Для измерения малых значений напряжения и э. д. с. (от 1 до 100 *мв*) применяют милливольтметры магнитоэлектрической системы (в цепях постоянного тока) и электронные (в цепях переменного тока). Измерение небольшой величины э. д. с. и напряжений постоянного тока (особенно в маломощных цепях) можно производить с помощью переносных потенциометров типа ПП или КП-59. При измерениях напряжения переменного тока малых, средних и больших величин в электронных схемах широко применяют ламповые вольтметры.

Падение напряжения постоянного тока косвенно может быть определено путем измерения (предварительно) сопротивления цепи R и тока в нем I:

$$U = IR \, [в]. \qquad (II.10)$$

3. Измерение тока

При испытательно-наладочных работах постоянный ток измеряют магнитоэлектрическим (реже электромагнитным) амперметром. Расширить пределы измерения амперметра можно с помощью шунтов (рис. II.2) и трансформаторов постоянного тока. Переменный ток промышленной частоты измеряют электромагнитным амперметром с трансформаторами тока (ТТ) — при больших токах или при высоком напряжении — и без них. Чаще всего применяют приборы типа Э-59 и универсальные ТТ типа УТТ-5, УТТ-6 и др.

Величину тока можно определить из таких выражений: при пользовании шунтом

$$I = \frac{\Delta U_{п}}{\Delta U_{ш.\ ном}} I_{ш.\ ном} = \frac{I_{п} R_{п}}{\Delta U_{ш.\ ном}} I_{ш.\ ном}; \qquad (II.11)$$

при пользовании ТТ

$$I = I_{п} K_{ТТ}, \qquad (II.12)$$

Рис. II. 2. Схема включения амперметра постоянного тока с шунтом.

где $\Delta U_{п}$ — падение напряжения на приборе, *мв*; $\Delta U_{ш\ ном}$ — номинальное падение напряжения на шунте, *мв*; $I_{ш.\ ном}$ — номинальный ток шунта, *а*; $I_{п}$ — ток прибора, *а*; $R_{п}$ — сопротивление прибора, *ом*; $K_{ТТ}$ — коэффициент трансформации ТТ.

Чем меньше сопротивление амперметра, тем меньше он искажает распределение токов и напряжений в схеме. Малые значения постоянного и переменного тока могут быть измерены миллиамперметрами.

Если требуется измерить малый переменный ток прибором, имеющим небольшое внутреннее сопротивление, можно воспользоваться шунтом, падение напряжения на котором определяется ламповым милливольтметром.

Токи небольшой величины могут быть измерены вольтметром. Верхний предел шкалы прибора по току в этом случае определится так:

$$I_{пр} = \frac{U_{пр}}{R_{в}} [a], \qquad (II.13)$$

где $U_{пр}$ — верхний предел прибора по напряжению, *в*; $R_{в}$ — сопротивление вольтметра, *ом*.

Во многих случаях переменный ток можно измерить с помощью токоизмерительных клещей, представляющих собой ТТ с раздвижным магнитопроводом и встроенным амперметром.

Косвенным образом ток I может быть определен по предварительно измеренному сопротивлению R (или Z) и падению напряжения на нем ΔU:

$$I = \frac{\Delta U}{R}, \text{ или } I = \frac{\Delta U}{Z}. \qquad \text{(II.14)}$$

При пользовании многопредельным амперметром (или вольтметром) истинное значение тока I (или напряжения U) по показаниям прибора α определяют по формулам

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{I_{\text{пр}}}{\alpha_{\text{пр}}}\alpha = c_1\alpha \\ U &= \frac{U_{\text{пр}}}{\alpha_{\text{пр}}}\alpha = c_2\alpha \end{aligned} \right\}, \qquad \text{(II.15)}$$

где $I_{\text{пр}}$ и $U_{\text{пр}}$ — соответственно верхний предел измерения тока и напряжения прибора при данном положении переключателя; $\alpha_{\text{пр}}$ — число делений шкалы; c_1 и c_2 — цена деления шкалы прибора.

Ниже приводятся технические данные некоторых типов лабораторных вольтметров и амперметров (табл. II. 3—II.5), а также измерительных трансформаторов (табл. II.6 и II.7), применяемых при наладочных работах.

Переносные приборы постоянного тока серии М-1100 (табл. II.3). Система приборов — магнитоэлектрическая. Класс точности 0,2 при выполнении следующих условий: а) положение прибора горизонтальное; б) температура окружающего воздуха $20 \pm 2°$ С; в) внешнее магнитное поле, кроме поля земного магнетизма, практически отсутствует. Длина шкалы прибора 140 *мм*. Рабочая часть шкалы 100%.

Приборы предназначены для работы в закрытых помещениях при температуре окружающего воздуха 10—35° С и относительной влажности до 80%. Изменение показаний, вызванное отклонением температуры окружающего воздуха от $20 \pm 2°$ С в пределах 10—35° С не превышает $\pm 0{,}2\%$ номинального значения предела измерения на каждые 10° С изменения температуры.

Дополнительная погрешность, вызванная влиянием внешнего магнитного поля напряженностью 400 *ав/м*, не превышает $\pm 0{,}3\%$ номинального значения предела измерения.

Влияние приборов друг на друга и влияние стального основания находятся в пределах точности измерения.

Таблица II.3

Пределы измерения приборов серии М-1100

Название и тип прибора	Предел измерения	Ток потребления и падение напряжения на приборах
Амперметр М-1104	0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75 *ма*	27; 55; 68; 80, 80; 80; 80 *мв*
	0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30 *а*	80; 85; 100; 100; 100; 140; 160; 230 *мв*
	45 *мв*; 3 *в*	1 *ма*
Милливольтметр М-1105	45 *мв*; 75 *мв*; 3 *в*	1 *ма*
Вольтметр М-1106	45; 75: 150; 300; 750 *мв*	1 *ма*
	1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 750 *в*	1 *ма*
	3 *ма*	68 *мв*
Вольтамперметр М-1107 (многопредельный)	45; 75; 150; 300; 750 *мв*	1 *ма*
	1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 *в*	1 *ма*
	0,75; 1,5; 3,0; 7,5; 15; 30; 75 *ма*	27; 55; 68; 80; 80; 80; 80 *мв*
	0,15; 0,3; 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15; 30 *а*	80; 85; 100; 100; 100; 140; 160; 230 *мв*

Название и тип прибора	Предел измерения	Ток потребления и падение напряжения на приборах
Вольтамперметр М-1108	45; 75 *мв* 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300 *в*	1 *ма* 1 *ма*
	0,3, 0,75, 1,5; 3; 7,5; 15; 30 *а*	85; 100; 100; 100; 140; 160; 230 *мв*
Милливольтмиллиамперметр М-1109	0,15; 0,3; 0,6; 1,5; 6; 15; 60 *ма*	15; 45; 65; 65; 75; 75 *мв*
	15; 30; 60; 150; 300; 600; 1500; 3000 *мв*	0,15 *ма*

Переносные приборы типа М-45М (табл. II.4). Система приборов — магнитоэлектрическая. Класс точности 1,0. Область применения — цепи постоянного тока. Длина шкалы 8,2 *мм*. Рабочая часть шкалы 100%.

Таблица II.4

Технические данные переносных приборов типа М-45М

Прибор	Верхние пределы измерения	Включение прибора
Миллиамперметр	1,5; 7,5; 15; 30 *ма* 7,5; 15; 30 *ма* 3; 15; 75; 150 *ма*	Непосредственное
Амперметр (измеритель на 75 *мв*)	0,3; 0,75; 1,5; 7,5 *а* 15; 30; 75; 150 *а*	С наружными шунтами типа 75РИ
Амперметр (измеритель на 75—0—75 *мв*)	0,3; 0,75; 1,5; 7,5 *а* 15; 30; 75; 150 *а*	С наружными шунтами типа 75РИ

Прибор	Верхние пределы измерения	Включение прибора
Амперметр (измеритель на 75—0—75 *мв*)	500; 1500 *а*	С наружными шунтами типа 75ШС
Милливольтметр	75 *мв*; 75—0—75 *мв* 75; 150; 750; 1500 *мв*	Непосредственное
Вольтметр	3; 15; 150 *в* 3; 7,5; 15; 30 *в*. 3; 15; 150; 300 *в*. 150; 300; 450 *в*; 150; 300; 600 *в* 3; 30; 300 *в*. 15; 150; 450 *в* 3; 75; 150; 300 *в*	Непосредственное
Вольтамперметр	Такие же, как у вольтметра: 75 *мв*; 3; 15; 150 *в*	Так же, как у вольтметра — непосредственное
	Такие же, как у амперметра: 0,3; 0,75; 1,5; 7,5 *а* 15; 30; 75; 150 *а*	Так же, как у амперметра с наружными шунтами типа 75РИ на 0,3; 0,75 *а*; 1,5; 7,5; 15; 30 *а* 75; 150 *а*

Примечания.

1. Амперметры присоединяются к шунтам калиброванными проводами сопротивлением 0,035 ± 0,002 *ом*.
2. Ток полного отклонения вольтметров 3 *ма*, милливольтметров (кроме 75—0—75 *мв*) 7,5 *ма*, у исключенных — 3,75 *ма*.

Переносные приборы типа Э-59 (табл. II.5). Система прибора — электромагнитная. Номинальная область частот от 45 до 55 *гц*. Класс точности 0,5. Длина шкалы 110 *мм*. Рабочий участок шкалы от 20 до 100%.

Переносные вольтметры типа С-96. Система — электростатическая. Класс точности 1,5. Длина шкалы 140 *мм*. Область применения — цепи постоянного и переменного тока. Область частот 20 *гц* — 10 *мгц*. Входная емкость 12 *пф*. Пределы измерения (*кв*): 7,5; 15; 30.

Таблица II.5

Технические данные переносных приборов типа Э-59

Наименование и тип прибора	Шкала прибора (верхний предел) измерения	Диапазон измеряемых величин	Расширенная область частот, *гц*	Сопротивление прибора (ориентировочное), *ом*	Индуктивность, *мгн*
Вольтметр Э-59/1	75; 150; 300; 600 *в*	15—600 *в*	55—300	10000/20000/ 40000/80000/	—
Вольтметр Э-59/2	7,5; 15; 30; 60 *в*	1,5—60 *в*	55—150	83,3/166,7/ 1000/2000	—
Вольтметр Э-59/10	1,5; 3; 7,5; 15 *в*	0,3—15 *в*	—	7,5/15/37,5/75	—
Амперметр Э-59/3	5; 10 *а*	1—10 *а*	55—1500	0,01/0,004	0,003/0,001
Амперметр Э-59/4	2,5; 5 *а*	0,5—5 *а*	55—1500	0,015/0,005	0,009/0,0023
Амперметр Э-59/5	1; 2 *а*	0,2—2 *а*	55—1500	0,05/0,014	0,052/0,013
Амперметр Э-59/6	0,25; 0,5; 1 *а*	0,05—1 *а*	55—1500	0,7/0,19/0,05	0,93/0,23/0,06
Миллиамперметр Э-59/7	50; 100; 200 *ма*	10—200 *ма*	55—1000	20/5/1,3	22/5,5/1,3
Миллиамперметр Э-59/8 . . .	25; 50; 100 *ма*	5—100 *ма*	55—500	75/19/4,8	92/23/5,7
Миллиамперметр Э-59/9 . . .	10; 20; 40 *ма*	2—40 *ма*	—	540/135/34	540/135/34

Таблица II.6

Технические данные лабораторных многопредельных ТТ

Тип прибора	Максимальный первичный ток, *а*	Номинальный вторичный ток, *а*	Класс точности	Примечание
УТТ-1	2000	5	0,2	—
УТТ-5	600	5	0,2	—
УТТ-6	2000	5	0,2	—
И-54(ЛТТ)	50	5	0,2	—
И-56	1000	5 и 1	0,1	Вес до 85 *кг*
И-509	1000	5	0,2	Расширенная область частот до 9600 *гц*
И-512	3000	5 и 1	0,1	Вес до 110 *кг*

Таблица II.7

Технические данные лабораторных многопредельных ТН

Тип прибора	Номинальные первичные напряжения, *в*	Номинальные вторичные напряжения, *в*	Класс точности	Примечание
УТН	500, 380, $380/\sqrt{3}$	100, $100/\sqrt{3}$ 100/3	0,2	—
И-50	3000, 6000, 10000, 15000	100 и $100/\sqrt{3}$	0,2	Вес до 80 *кг*
И-510	3000, 6000, 10000, 15000	$100/\sqrt{3}$, 100, 150	0,1	Вес до 110 *кг*

4. Измерение мощности

Мощиость в электрических цепях измеряют ваттметрами электродинамической или индукционной системы (последнюю применяют только в цепях перемениого тока). На рис. II.3 приведены схемы включеиия ваттметра для измерения мощиости, потребляемой сопротивлением нагрузки $R_{\text{наг}}$ (в цепях постоянного и однофазного переменного тока). В цепь напряжения включены добавочные сопротивления $R_{\text{д}}$. Начало токовой обмотки и обмотки напряжения, так же как и в последующих схемах, показано соответственно левой и верхней точками на обмотках ваттметра W; перемена полярности одной из обмоток приводит к отклонению стрелки ваттметра в обратную сторону.

При включении ваттметра по схеме, приведенной на рис. II.3, *а*, в цепь постоянного тока он учитывает мощность, потребляемую электроприемниками, а также потери в токовой обмотке ваттметра:

$$P = IU' = I(U + IR_т) = IU + I^2R_т = P_{пр} + P_т, \qquad (II.16)$$

где I и U — соответственно ток и напряжение на нагрузке; U' — напряжение питания; $R_т$ — сопротивление токовой обмотки ваттметра, *ом*; $P_{пр}$ и $P_т$ — соответственно мощность, потребляемая приемниками, и потери мощности в токовой обмотке.

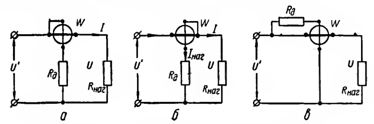


Рис. II.3. Принципиальные схемы включения ваттметра в цепь постоянного и однофазного переменного тока.

При включении по схеме, приведенной на рис. II.3 *б*, ваттметр учитывает дополнительно потери в обмотке напряжения $P_н$:

$$P = U(I + I_н) = UI + UI_н = P_{пр} + P_н. \qquad (II.17)$$

Схему, приведенную на рис. II.3, *в*, не следует применять вследствие того, что при таком включении между обмотками тока и напряжения появляется большая разность потенциалов, способная привести к пробою изоляции обмотки и вызвать дополнительную погрешность за счет электростатического взаимодействия обмоток.

Показания ваттметра, включенного в цепь переменного тока, пропорциональны произведению подведенного к нему напряжения U, тока в токовой обмотке I и $\cos\varphi$:

$$P = c_{вт}UI\cos\varphi, \qquad (II.18)$$

где $c_{вт}$ — цена деления ваттметра.

При определении мощности косвенным методом в цепи постоянного тока измеряют ток и напряжение:

$$P = UI, \qquad (II.19)$$

а в цепи переменного тока дополнительно с помощью фазометра — $\cos\varphi$.

Для расшиpеиия пределов измереиия ваттметра по току и иапряжению примеияют шуиты, добавочиые сопротивлеиия и измерительиые трaисформаторы (рис. II.4). Цеиа делеиия ваттметра при пользоваиии измерительиыми траисформаторами составляет:

$$c_{изм} = c_{вт} K_{ТТ} K_{ТН} \, [вт/дел]. \quad (II.20)$$

Здесь $K_{ТТ}$ и $K_{ТН}$ — коэффициеиты траисформации соответствеиио ТТ и ТН; $c_{вт}$ — цеиа делеиия ваттметра при даииом положеиии переключателей пределов по току и иапряжеиию:

$$c_{вт} = \frac{U_{пр} I_{пр}}{\alpha_{пр}} \, [вт/дел], \quad (II.21)$$

где $U_{пр}$ и $I_{пр}$ — верхиие пределы ваттметра; $\alpha_{пр}$ — количество делений шкалы ваттметра.

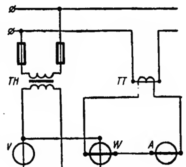


Рис. II.4. Схема включения ваттметра, амперметра и вольтметра через измерительные трансформаторы.

При выполиеиии испытательио-иаладочиых работ мощиость в трехфазиых цепях измеряют одиофазиыми активиыми ваттметрами типа Д-539, АСТД и др. В четырехпроводиых сетях (три фазиых и один нулевой провод) активиую мощиость измеряют с помощью трех одиофазных ваттметров, включеииых в отдельиые фазы (рис. II.5).

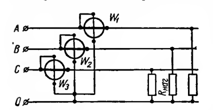


Рис. II.5. Схема включення однофазных ваттметров в четырехпроводную сеть трехфазного тока.

Измеряемую мощиость $P_а$ определяют как сумму мощностей всех фаз:

$$P_а = P_A + P_B + P_C. \quad (II.22).$$

Пользоваться одиим ваттметром, включеииым в одиу из фаз, в этом случае не следует, так как велика вероятиость иеравиомериости иагрузки, и погрешиость измереиия может оказаться зиачительио больше допустимой.

Активиую мощиость $P_а$ в трехпроводиой сети (без нулевого провода) при равиомериой иагрузке фаз можио определить по одиой из следующих схем.

1. Схема с одиим ваттметром, включеииым иа иапряжение и ток одиой и той же фазы (рис. II.6). В качестве нулевой точки используется нейтраль приемиика или источиика электроэнергии (двигателя *Д*, геиератора *Г* и др.).

Мощность $P_а$ трех фаз определяют из выражения

$$P_а = 3P_А. \qquad (II.23)$$

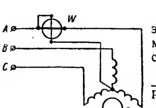


Рис. II.6. Схема измерения мощности в трехфазной трехпроводной сети одним ваттметром.

Если обмотки приемника (или источника) электроэнергии соединены в треугольник, мощность одной фазы можно измерить по схеме, приведенной на рис. II. 7.

2. В установках, где нулевая точка недоступна, мощность может быть измерена одним ваттметром при создании искусственной нулевой точки (рис. II.8) обмоткой напряжения ваттметра и сопротивлениями, подключенными к двум остальным фазам (R_1 и R_2).

Сопротивления всех фаз, образующие звезду, должны быть равны друг другу:

$$R_1 = R_2 = R_w + R_д, \qquad (II.24)$$

где R_w — сопротивление обмотки напряжения ваттметра; $R_д$ — добавочное сопротивление цепи.

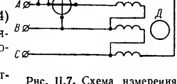


Рис. II.7. Схема измерения мощности одним ваттметром при соединении приемника электроэнергии в треугольник.

3. Согласно схеме на рис. II.9, к ваттметру, токовая обмотка которого включена в одну из фаз (A), поочередно с помощью переключателя подводят междуфазные напряжения (AB и AC).

Алгебраическая сумма показаний ваттметра при первом (P_1) и втором (P_2) измерениях равна потребляемой мощности установки $P_а$:

$$P_а = P_1 + P_2. \qquad (II.25)$$

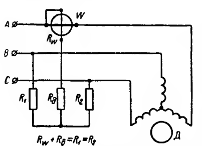


Рис. II.8. Схема измерения мощности одним ваттметром в трехфазной сети с созданием искусственной нулевой точки.

Значения P_1 и P_2 можно измерять одновременно двумя ваттметрами, что целесообразно тогда, когда возможно подвести к ваттметрам напряжение всех трех фаз, а ток — только одной фазы.

4. Если к ваттметрам можно подвести токи двух фаз (A и C) и только одно междуфазное напряжение (AC), то мощность $P_а$ можно

измерять двумя ваттметрами по схеме, приведенной на рис. II.10, где $R_1 - R_3$ — сопротивление нагрузки $R_{наг}$. При этом P_a определяется из уравнения (II.25).

Активную мощность в трехпроводной сети при равномерной и неравномерной загрузке фаз можно измерить следующим образом:

1) по схеме трех ваттметров, аналогичной схеме на рис. II.5, но без связи нулевой точки обмоток напряжения ваттметров с нулевым проводом сети;

2) по одному из трех вариантов схемы, приведенной на рис. II.11 (схемы Арона). В испытательной практике эта схема применяется наиболее часто.

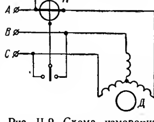


Рис. II.9. Схема измерения мощности одним ваттметром в трехфазной сети с переключением обмотки напряжения.

Реактивную мощность трехфазной установки $P_р$ определяют с помощью активных ваттметров по следующим схемам.

1. В трехпроводной сети с равномерной загрузкой фаз по одной из схем, приведенных на рис. II.11, $P_р$ определяют как алгебраическую разность мощностей, измеренных каждым ваттметром, умноженную на $\sqrt{3}$:

$$P_р = \sqrt{3}\,(P_1 - P_2). \qquad (II.26)$$

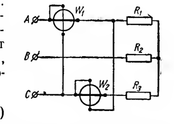


Рис. II.10. Схема измерения мощности в трехфазной сети двумя ваттметрами при подключении к ним токов разных фаз и одного междуфазного напряжения.

В трехпроводной сети с равномерной и неравномерной загрузкой фаз $P_р$ определяют по схеме, приведенной на рис. II.12:

$$P_р = \sqrt{3}\,(P_1 + P_2). \qquad (II.27)$$

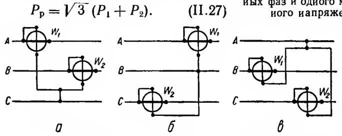


Рис. II.11. Три варианта включения ваттметров по схеме Арона.

Сопротивление, включенное на свободную фазу (R), подбирают так, чтобы оно вместе с обмотками напряжения ваттметров и их

добавочными сопротивлениями ($R_{w_1} + R_{д_1}$ и $R_{w_2} + R_{д_2}$) образовало бы симметричную звезду, а к ваттметрам были бы подведены фазовые напряжения:

$$R = R_{w_1} + R_{д_1} = R_{w_2} + R_{д_2}. \qquad (II.28)$$

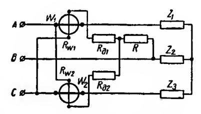


Рис. II.12. Схема измерения реактивной мощности двумя ваттметрами в сети трехфазного тока.

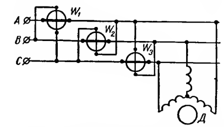


Рис. II.13. Измерение реактивной мощности тремя ваттметрами в трехфазной трехпроводной сети.

3. В трех- и четырехпроводной сети $P_р$ определяют по схеме трех ваттметров, включенных по напряжению «на чужие фазы» (рис. II.13 и II.14). При этом реактивная мощность

$$P_р = \frac{P_A + P_B + P_C}{\sqrt{3}}. \qquad (II.29)$$

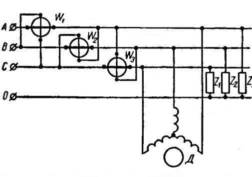


Рис. II.14. Измерение реактивной мощности тремя ваттметрами в трехфазной четырехпроводной сети.

При равномерной загрузке фаз можно ограничиться одним из ваттметров. Тогда

$$P_р = \sqrt{3}\,P_A. \qquad (II.30)$$

Следует иметь в виду, что при определении реактивной мощности указанными выше методами необходимо знать порядок чередования фаз сети. Если он окажется обратным, показания ваттметров во многих случаях будут отрицательными.

Реактивную мощность можно определить косвенным методом при измерении тока, напряжения и активной мощности. По средним току и напряжению рассчитывают полную (кажущуюся) мощность:

$$S = \sqrt{3}\,U_л I_ф = 3U_ф I_ф\,[ва], \qquad (II.31)$$

где $I_ф$ и $U_ф$ — соответственно фазные ток и напряжение; $U_л$ — линейное напряжение.

Тогда реактивная мощность

$$P_р = \sqrt{S^2 - P_а^2}\ [вар]. \qquad (II.32)$$

Ниже приведены технические данные некоторых типов лабораторных ваттметров.

Ваттметр типа Д-566 (табл. II.8). Система прибора — электродинамическая. Класс точности 0,2. Номинальная область частот 45—500 *гц*. Расширенная область частот 500—1500 *гц*. Длина шкалы 160 *мм*. Рабочая часть шкалы 100%.

Ваттметр типа Д-539 (табл. II.9). Система прибора — ферродинамическая. Класс точности 0,5. Область применения — цепи постоянного и переменного тока. Номинальная область частот 45—65 *гц*. Расширенная область частот 65—500 *гц*. Длина шкалы 110 *мм* Рабочая часть шкалы 100%.

Переносной малокосинусный ваттметр типа Д-542 (табл. II.10). Система прибора — электродинамическая. Класс точности 0,5. Номинальный коэффициент мощности 0,1. Используют в сетях переменного тока частотой от 45 до 65 *гц* (расширенная область частот 65—400 *гц*) и в сетях постоянного тока. Длина шкалы 125 *мм*; шкала равномерная. Отсчет — световой. Лампа осветительная СЦ76. В приборе восемь пределов измерения (два по току, четыре по напряжению).

5. Коэффициент мощности

В наладочной практике наибольшее распространение получил косвенный метод определения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) в цепях переменного тока. При этом измеряют либо ток, напряжение и мощность, либо только мощность по схеме двух ваттметров (в трехфазных трехпроводных сетях с равномерной нагрузкой фаз (см. рис. II.11).

В первом случае коэффициент мощности определяют из таких выражений:

для однофазных схем

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I}; \qquad (II.33)$$

для трехфазных схем

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U_л I}. \qquad (II.34)$$

Таблица II.8

Технические данные ваттметров типа Д-566

Тип прибора	Номинальный ток, *а*	Верхний предел шкалы, *вт*, при номинальном напряжении, *в*					Последовательная цепь		Сопротивление параллельных цепей, *ом*, при номинальном напряжении, *в*				
		75	150	300	450	600	Сопротивление, *ом*	Индуктивность, *мгн*	75	150	300	450	600
Д-566/11 . . .	5	375	750	1500	—	—	0,016	0,008	2500	5000	10000	—	—
	10	750	1500	3000	—	—	0,0075	0,003					
Д-566/12 . . .	2,5	187,5	375	750	—	—	0,032	0,03	2500	5000	10000	—	—
	5	375	750	1500	—	—	0,014	0,008					
Д-566/13 . . .	0,5	37,5	75	150	—	—	0,37	0,8	2500	5000	10000	—	—
	1	75	150	300	—	—	0,097	0,2					
Д-566/14 . . .	0,15	11,25	22,5	45	—	—	4,03	8,9	2500	5000	10000	—	—
	0,3	22,5	45	90	—	—	1,01	2,2					
Д-566/15 . . .	2,5	—	375	750	1125	—	0,032	0,03	—	5000	10000	15000	—
	5	—	750	1500	2250	—	0,014	0,008					
Д-566/16 . . .	2,5	—	—	750	1125	1500	0,047	0,06	—	—	20000	30000	40000
	5	—	—	1500	2250	3000	0,013	0,015					

Таблица II.9

Технические данные ваттметров типа Д-539

Тип прибора	Номинальный ток, *а*	Верхний предел измерений, *вт*, при номинальном напряжении, *в*						Последовательная цепь	
		30	75	100	150	300	600	Сопротивление, *ом*	Индуктивность, *мгн*
Д-539/1	5	150	375	—	750	1500	—	0,006	0,005
	10	300	750	—	1500	3000	—	0,003	0,002
Д-539/2	5	—	375	—	750	1500	3000	0,006	0,005
	10	—	750	—	1500	3000	6000	0,003	0,002
Д-539/3	2,5	75	187,5	—	375	750	—	0,008	0,02
	5	150	375	—	750	1500	—	0,004	0,005

Д-539/4	2,5	—	187,5	—	375	750	1500	0,008	0,02
	5	—	375	—	750	1500	3000	0,004	0,005
Д-539/5	1	30	75	—	150	300	—	0,028	0,09
	2	60	150	—	300	600	—	0,014	0,02
Д-539/6	1	—	75	—	150	300	600	0,028	0,09
	2	—	150	—	300	600	1200	0,014	0,02
Д-539/7	0,5	15	37,5	—	75	150	—	0,068	0,36
	1	30	75	—	150	300	—	0,034	0,09
Д-539/8	0,5	—	37,5	—	75	150	300	0,068	0,36
	1	—	75	—	150	300	600	0,034	0,09
Д-539/9	0,25	7,5	18,75	—	37,5	75	—	0,27	1,5
	0,5	15	37,5	—	75	150	—	0,068	0,37
Д-539/10 . . .	0,25	—	18,75	—	37,5	75	150	0,27	1,5
	0,5	—	37,5	—	75	150	300	0,068	0,37
Д-539/11 . . .	0,1	3	7,5	—	15	30	—	1,5	9
	0,2	6	15	—	30	60	—	0,37	2
Д-539/12 . . .	0,1	—	7,5	—	15	30	60	1,5	9
	0,2	—	15	—	30	60	120	0,37	2
Д-539/13 . . .	0,05	1,5	3,75	—	7,5	15	—	5,6	36
	0,1	3	7,5	—	15	30	—	1,4	9
Д-539/14 . . .	0,05	—	3,75	—	7,5	15	30	5,6	36
	0,1	—	7,5	—	15	30	60	1,4	9
Д-539/15 . . .	0,025	0,75	1,875	—	3,75	7,5	—	22,4	150
	0,05	1,5	3,75	—	7,5	15	—	5,6	38
Д-539/16 . . .	0,025	—	1,875	—	3,75	7,5	15	22,4	150
	0,05	—	3,75	—	7,5	15	30	5,6	38
Д-539/17 . . .	0,01	0,3	0,75	—	1,5	3	—	140	900
	0,02	0,6	1,5	—	3	6	—	35	220
Д-539/18 . . .	0,01	—	0,75	—	1,5	3	6	140	900
	0,02	—	1,5	—	3	6	12	35	220
Д-539/19 . . .	5	—	—	500	—	1500	—	0,0045	0,005
	10	—	—	1000	—	3000	—	0,0023	0,002
Д-539/20 . . .	5	—	—	—	750	1500	—	0,0045	0,005
	10	—	—	—	1500	3000	—	0,0023	0,002

Примечания.

1. Сопротивление параллельной цепи прибора при номинальном напряжении: 30 *в* — 10 000 *ом*; 75 *в* — 25 000 *ом*; 100 *в* — 33 333 *ом*. 300 *в* — 50 000 *ом*; 600 *в* — 200 000 *ом*.
2. Номинальный ток параллельной цепи 3 *ма*.

Таблица II.10

Технические данные ваттметров типа Д-542

Тип прибора	Номинальный ток, *а*	Верхний предел по мощности, *вт*, при напряжении, *в*				Данные последовательной цепи	
		30	75	150	300	Сопротивление, *ом*	Индуктивность, *мгн*
Д-542/1	0,25	0,75	1,875	3,75	7,5	2,4	2,2
	0,5	1,5	3,75	7,5	15	0,6	0,6
Д-542/2	0,5	1,5	3,75	7,5	15	0,6	0,6
	1	3	7,5	15	30	0,15	0,15
Д-542/3	2,5	7,5	18,75	37,5	75	0,08	0,03
	5	15	37,5	75	150	0,02	0,007
Д-542/4	5	15	37,5	75	150	0,03	0,007
	10	30	75	150	300	0,01	0,002

Прнмечанне. Номннальный ток параллельной цепи всех модификаций 5 *ма*.

Во втором случае определяют отношенне показанний ваттметров $\frac{a_1}{a_2}$, а затем коэффнцнент мощностн

$$\cos\varphi = \frac{\frac{a_1}{a_2} + 1}{2\sqrt{\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2 - \frac{a_1}{a_3} + 1}}. \quad (II.35)$$

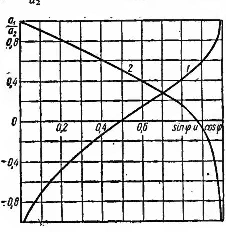


Рис. II.15. График зависимостн показаний ваттметров, включенных по схеме Арона, от $\cos\varphi$ (кривая *1*) и $\sin\varphi$ (кривая *2*).

Показання a_1 относятся к ваттметру, токовая обмотка которого включена в фазу, опережающую по отношенню к фазе второго ваттметра.

Для трех возможных варнантов включення ваттметров по схеме на рнс. II.11 опережающую фазу следует определять так: прн включеннн токовых обмоток ваттметров в фазы *A* и *B* опережающей будет фаза *A*, в фазы *B* н *C* — фаза *B*, в фазы *A* и *C* — фаза *C*.

Для упрощення вычнсленнй по выраженню (II.35) на рис. II.15 прнведены крнвые завнснмостн отношення $\frac{a_1}{a_2}$ от $\cos\varphi$ н $\sin\varphi$. Ре-

же коэффициент мощности определяют непосредственно с помощью фазометра электродинамической или электромагнитной системы. Применяют лабораторные (переносные) фазометры однофазные типа ЭЛФ (рис. II.16) и трехфазные (рис. II.17). Ниже приведены характеристики этих приборов.

Рис. II.16. Принципиальная схема включения однофазного фазометра ЭЛФ.

Фазометр однофазный переносной типа ЭЛФ. Система — электродинамическая. Класс точности 1,5. Номинальный ток 5 и 10 *а*. Номинальное напряжение 100 и 220 *в*. Пределы измерения угла сдвига фаз 0—90° ($\cos\varphi = 1 \div 0$). Потребляемая мощность последовательной цепи 3,5 *вт*. Ток параллельной цепи при номинальном напряжении 43 *ма*. Прибор — четырехквадрантный.

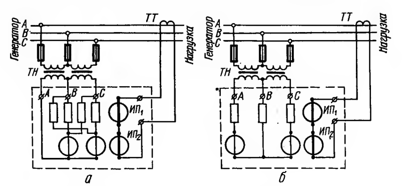


Рис. II.17. Схема включения трехфазных щитовых фазометров типа Д-342(*а*) и Д-320(*б*).

Фазометр трехфазный типа Д-382. Система прибора — ферродинамическая. Класс точности 1,5. Длина шкалы 110 *мм*. Номинальный ток фазометра 5 *а*. Номинальные напряжения 127; 220 и 380 *в*. Применяют в трехфазных цепях переменного тока с равномерной нагрузкой фаз и при симметрии линейных напряжений.

6. Частота переменного тока

Частоту, близкую к 50 *гц*, в промышленных электроустановках обычно измеряют щитовыми показывающими или регистрирующими частотомерами вибрационной или ферродинамической системы. Весьма распространен лабораторный переносной частотомер типа Д-506/1 класса точности 0,2 с пределами измерения 45—55 *гц*.

Для измерения повышенной частоты используют частотомеры типа Д-506/2—Д-506/10 (табл. II.11). Высокая частота может быть измерена методом сравнения с частотой, задаваемой генератором стандартных сигналов (ГСС), генератором звуковой частоты (ЗГ) или волномером-гетеродином (ВГ). Сравнение осуществляется либо с помощью электронного осциллографа по фигурам Лиссажу [44], либо методом биения с помощью радионаушников.

Таблица II.11

Технические данные частотомеров типа Д-506/2—Д-506/10

Тип прибора	Номинальная частота, *гц*	Пределы измерения, *гц*	Номинальное напряжение, *в*
Д-506/1	50	45—55	100, 127, 220
Д-506/2	200	180—220	36, 100, 127, 220
Д-506/3	430	380—480	36, 100, 127, 220
Д-506/4	500	450—550	36, 100, 127, 220
Д-506/5	1000	900—1100	36, 100, 127, 220
Д-506/6	1500	1350—1650	36, 100, 127, 220
Д-506/7	60	55—65	100, 127, 220
Д-506/8	100	90—110	36, 100, 127, 220
Д-506/9	800	700—900	36, 100, 127, 220
Д-506/10	150	135—165	36, 100, 127, 220

7. Сопротивление постоянному току

Величина сопротивлений, которые приходится измерять при испытательно-наладочных работах, колеблется в очень широких пределах — от десятков микроом (переходные сопротивления контактов) до тысяч мегом (сопротивления изоляции). Соответственно этому, а также требуемой точности применяют такие методы измерения сопротивления постоянному току: 1) метод омметра (микроомметра, мегомметра); 2) метод вольтметра — амперметра; 3) метод одинарного моста (Витстона); 4) метод двойного моста (Томсона); 5) метод потенциометра.

На величину сопротивления постоянному току очень большое влияние оказывает температура измеряемого объекта, которую опре-

деляют одним из описайных ннже способов, но чаще всего с помощью жндкостных термометров одновременно с измереинем сопротивлення. Пересчет сопротивленнй с одиой температуры (t) на другую (t_1) может быть пройзведеи по выражению

$$R_1 = R\,[1 + \alpha\,(t_1 - t)] \ \ [ом], \qquad (II.36)$$

где R — сопротивление, измереиное при температуре t, *ом*; R_1 — сопротивлеиие, рассчнтываемое при t_1, *ом*; α — температуриый коэффициеит сопротивлеиия матернала проводннка.

Прн измерении малых сопротивлеиий (нние 1 *ом*) необходнмо учитывать сопротивление соедииительиых проводов н переходные сопротнвлеиия коитактов.

Если нзмерення производят методом одииарного моста или иизкопредельиого омметра, то сопротивление проводов и, частичио, контактов, может быть предварительио измереио тем же прибором. Зиачение сопротивления вычитают из полученного результата. При точиых нзмерениях малых сопротнвлеиий примеиять эти методы ие следует.

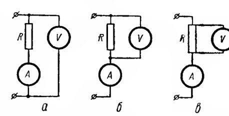


Рис. II.18. Схемы измерения сопротивления методом вольтметра-амперметра.

Методы двойиого моста, вольтметра — амперметра, потеициометра сводятся к определению падения напряжения на измеряемом сопротивлеиии, поэтому, если потеициальные провода включены так, что они ие охватывают токовые провода и коитактные соедииеиия, последиие не оказывают влияиия иа результат измереиия. На рис. II.18, *а* и *б* в качестве примера приведеиы иеправильиые схемы нзмереиия малых сопротивлеиий по методу вольтметра — амперметра, а иа рис. II.18, *в* — правильная.

Метод омметра

Определеиие сопротивлеиия омметром — это иепосредствениый метод измереиия. Такой метод наимеиее точный из всех перечислеииых выше. Омметры, рассчитаиные иа измеренне сопротивлений от 1 *ом* до 100 *ком*, чаще всего применяют при приближеииых предварительиых измерениях сопротнвлеиий, а также при проверке цепей коммутацни.

В иастоящее время иаиболее часто нспользуют одиорамочные омметры и омметры-логометры. Техническне данные некоторых из иих приведеиы ниже.

Омметр типа М-371. Система прибора — магнитоэлектрическая. Класс точности 1,5. Пределы измерения сопротивления (для трех модификаций прибора): 1) 100/1000/10000 *ом*; 2) 10/100 *ом*; 3) 100 *ком*/10 *мом*. В прибор встроена одна или две батареи ФБС-0,25.

Малогабаритный омметр типа М-57. Система прибора — магнитоэлектрическая. Точность измерений 10—22%. Длина шкалы 55 *мм*. Пределы измерения (*ом*): 0—20; 20—80; 80—500; 500—1500; 1500—5000. Источник питания — сухая батарея типа КБС-Х-070 или КБС-Л-050 (4,5 *в*).

Омметр типа М-471. Система — магнитоэлектрическая. Класс точности 1,5. Длина шкалы 80 *мм*. Пределы измерения приборов четырех модификаций: 1) 10 *ом*/1000 *ом*; 2) 100 *ом*/10000 *ом*; 3) 1000*ом*/100000 *ом*; 4) 100 *ком*/10 *мом*. В прибор встроен элемент ФБС-0,25.

Омметр типа М-218 (табл. II.12). Система прибора — логометр магнитоэлектрической системы. Длина шкалы 130 *мм*. Прибор питается от сети переменного тока частотой 50—800 *гц* или от источника постоянного тока через вибропреобразователь типа П41, который входит в комплект прибора.

Таблица II.12

Технические данные омметра типа М-218

Пределы измерения сопротивления	Класс точности	Рабочий ток, *ма*	Пределы измерения сопротивления	Класс точности	Рабочий ток, *ма*
0,1—1 *ом*	2,5	500	1—10 *ком*	1,5	2—0,25
1—10 *ом*	1,5	50	10—100 *ком*	1,5	0,2—0,025
10—100 *ом*	1,5	5	0,1—1 *мом*	1,5	0,2—0,025
0,1—1 *ком*	1,5	20—2,5	1—10 *мом*	2,5	0,2—0,025

Тераомметр типа Ф-57. Система прибора — электронная. Длина шкалы 95 *мм*. Точность измерения:

Пределы измерения, *ом*	10^8—10^9	10^9—10^{10}	10^{10}—10^{11}	10^{11}—10^{12}	10^{12}—10^{13}	10^{13}—10^{14}
Основная погрешность измерения, %	±5	±10	±10	±10	±15	±15

Источник питания — встроенная батарея с напряжением 120 *в* ±10%. Мощность, потребляемая прибором, 20 *вт*. Входная емкость до 40 *пф*.

Метод вольтметра — амперметра

Этот косвенный метод определения сопротивления основан на измерении тока, протекающего через сопротивление, и падения напряжения на нем.

На рис. II.19 приведены два варианта схемы включения приборов. Схему на рис. II.19, *а* применяют при измерении малых сопротивлений, когда увеличение тока, измеряемого амперметром, невелико за счет включения вольтметра параллельно сопротивлению.

Точный расчет измеряемого сопротивления можно производить по формуле

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_в}} \text{ [ом]}, \tag{II.37}$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра.

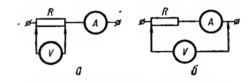


Рис. II.19. Схема включеиия вольтметра и амперметра при измереиии малых (*а*) и больших (*б*) сопротивлеиий.

Рис. II.20. Схема измерення сопротивления одиим (двумя) вольтметром.

Вариант схемы на рис. II.19, *б* применяют при измерении больших сопротивлений. Сопротивление

$$R = \frac{U - IR_а}{I} \text{ [ом]}, \tag{II.38}$$

где $R_а$ — сопротивление амперметра.

При пользовании методом вольтметра — амперметра во избежание нагрева сопротивления ток нужно устаиавливать не больше 20% номинального. По этой же причине длительность измерения должна быть ограничена временем, необходимым для осуществления надежиых отсчетов по приборам. Вольтметр и амперметр при измерениях следует располагать рядом; показания приборов нужно снимать одновременно.

Большие сопротивления можно измерять с помощью одного (или двух) вольтметров по схеме, приведенной на рис. II.20. Расчет сопротивления по показаниям вольтметра U_1 и U_2 производят согласно выражению

$$R = R_в\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right), \tag{II.39}$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра V_1.

Метод одинарного моста (Витстона)

Метод одинарного моста является нулевым методом (рис. II.21). Пользование методом дает надежные и точные результаты при измерении сопротивлений от 1 до 1000000 *ом*.

Основное соотношение одинарного моста:

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2} \ [ом], \qquad (II.40)$$

где R_x — измеряемое сопротивление; $R_1 — R_3$ — сопротивления плеч моста, при которых наступает его равновесие (стрелка гальванометра устанавливается на нулевой отметке).

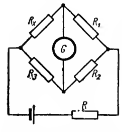


Рис. II.21. Принципиальная схема одинарного моста.

Мост может быть собран из отдельных элементов, тогда плечи его $R_1—R_3$ выполняют из магазинов сопротивления. Плечи R_2 и R_3 могут быть выполнены из калиброванной проволоки (реохорда), по которой перемещается движок, соединенный с гальванометром G.

Отечественная промышленность выпускает несколько типов одинарных мостов, технические данные которых приведены ниже.

Измерительный мост постоянного тока Р-333 предназначен: а) для измерения сопротивлений по схеме одинарного моста от $5 \cdot 10^{-3}$ до $999{,}9 \cdot 10^3$ *ом*; б) для определения места повреждения кабеля методами петли Варлея и петли Муррея; в) для измерения симметрии проводов; г) для использования в качестве магазина сопротивлений.

Класс точности моста: 0,5 в пределах 1—99990 *ом*, 1,5 в пределах 0,1—1 *ом*; 5 в пределах 0,005—0,099 и 100 000—999 900 *ом*. В мост встроены пять элементов типа 1КС-V-3.

Измерительный мост постоянного тока Р-316 предназначен для измерения сопротивлений по одинарной схеме в пределах 10^{-5}—10^6 *ом*. Класс точности моста: 0,2 от 0,01 до 10^5 *ом*; 5 от 10^{-5} до 10^{-2} и от 10^5 до 10^6. Питание моста осуществляется от сети напряжением 127 или 220 *в*.

Мост Витстона универсальный МВУ-49. Пределы измерения сопротивлений от 1,0 до 100000 *ом*. Класс точности 0,1. Постоянная гальванометра 10^{-6} *а/дел*. Внутреннее сопротивление гальванометра 300 *ом*. Допустимая мощность каждой катушки сопротивления 0,25 *вт*.

Универсальный мост Витстона УМВ (табл. II.13). Класс точности: 0,5 в пределах 1—100 000 *ом*, 5 за этими пределами. Мост может быть использован для определения места повреждения кабеля методами петли Варлея и петли Муррея.

Монтажный курбельный мост Витстона МКМВ. Пределы измерения сопротивлений 1—100000 *ом*. Основная погрешность моста 0,1%. Допустимая нагрузка на каждую катушку сопротивления плеч 0,5 *вт*. Постоянная гальванометра 10^{-6} *а/мм*.

Малый мост Витстона ММВ. Пределы измерения сопротивлений 0,05—50000 *ом*. Основная погрешность вблизи средней точки шкалы реохорда $\pm 2\%$, в конце шкалы $\pm 5\%$.

Таблица II.13

Техническне данные моста тнпа УМВ

Пределы измерения сопротивления, *ом*	Напряжение источника питания, *в*	Отношение плеч моста
0—1	2	1 : 1000
1—10	4	1 : 1000
10—100	4	1 : 100
100—1000	6	1 : 10
1000—10000	8	1 : 1
10000—1000000	20	10 : 1
100000—1000000	20	100 : 1

Метод двойного моста (Томсона)

Пользование одинариым мостом при измерении сопротивления меньше 1 *ом*, как правило, не обеспечивает требуемой точности из-за влияния на результат измерения соединительных проводов и переходных контактов. Этот иедостаток в значительной степени устраняется при использовании двойиого моста (Томсона). Принципиальная схема этого моста приведена на рис. II.22.

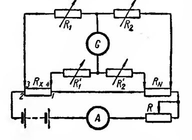


Рис. II.22. Принцнпиальная схема двойного моста.

Установка гальванометра на нуль осуществляется при изменении сопротивлений R_1, R_2, R_1' и R_2'. При этом сохраняются равенства

$$R_1 = R_1' \text{ и } R_2 = R_2'. \qquad (II.41)$$

Уравнение равновесия моста имеет вид

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2}, \qquad (II.42)$$

где R_N — образцовое сопротивление, составная часть моста.

К измеряемому сопротивлению R_x подсоединяют четыре провода (рис. II.22). Провод *2* — продолжение цепи питания моста, его сопротивление не отражается на точности измерений. Провода *3* и *4* включены последовательно с сопротивлениями R_1 и R_1', большими 10 *ом*, так что их влияние в известных пределах ограничено. Провод *1* является составной частью схемы; его следует выбирать как можно толще и короче, однако и он оказывает намного меньшее влияние на результат измерения, чем соедннительные провода в одинарном

мосте. Ниже приведены технические данные некоторых двойных мостов, выпускаемых отечественной промышленностью.

Мост двойной типа МПД-6 (табл. II.14). Пределы измерения сопротивлений 10^{-5}—11 *ом*. Постоянная гальванометра $3{,}33 \cdot 10^{-6}$ *а/дел*.

Мост технический типа МТ-5. Пределы измерения сопротивлений 0,00001—11 *ом*. Погрешность измерения: ± 2 деления шкалы при R от 0,00001 до 0,00011 *ом* ± 1, при R от 0,0001 до 11 *ом*. Постоянная гальванометра $5 \cdot 10^{-7}$ *а/дел*.

Таблица II.14

Технические данные двойного моста типа МПД-6

Положение переключателя плеч сравнения	Пределы измерения сопротивления, *ом*	Допустимая погрешность измерения, %	Цена деления реохорда, *ом*
0,001	0,00001—0,00011	±2	0,000001
0,01	0,0001—0,0011	±1	0,00001
0,1	0,001—0,011	±1	0,0001
1	0,01—0,11	±1	0,001
10	0,1—1,1	±1	0,01
100	1,0—11,0	±1	0,1

Метод потенциометра

Этот метод можно применять при измерении малых сопротивлений. Заключается он в том, что последовательно с измеряемым сопротивлением R_x включают образцовое сопротивление R_N, близкое по величине к измеряемому. Через оба сопротивления пропускают постоянный ток и с помощью потенциометра определяют падение напряжения вначале на образцовом, затем на измеряемом и, наконец, опять на образцовом сопротивлении. Последнюю операцию проводят для того, чтобы убедиться, что ток в процессе измерений не изменился (рис. II.23). Измеряемое сопротивление

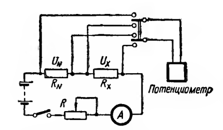


Рис. II.23. Схема измерения сопротивлений с помощью потенциометра.

$$R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} \; [ом], \tag{II.43}$$

где U_x и U_N — падение напряжения соответственно на измеряемом и образцовом сопротивлениях, *в* (или *мв*).

8. Активные, индуктивные, емкостные и полные сопротивления переменному току

Величина активных (в меньшей мере), емкостных и индуктивных сопротивлений зависит от частоты переменного тока. На емкость и, особенно, индуктивность влияют величина тока и напряжения, а также форма их кривой. Поэтому для таких сопротивлений обычно задают условия, при которых они должны быть измерены.

В некоторых случаях снимают вольт-амперные характеристики, т. е. определяют зависимость тока от подводимого к сопротивлению напряжения $I = f(U)$ и величину сопротивления (в общем случае полного) по формуле

$$Z = \frac{U}{I}\ [ом] \tag{II.44}$$

при нескольких значениях тока; в случае необходимости можно построить кривую зависимости $Z = f(I)$ или $Z = f(U)$.

Определение активного сопротивления и индуктивности методом вольтметра, амперметра и ваттметра

Схему на рис. II.24, *а* применяют тогда, когда измеряемое сопротивление велико, на рис. II.24, *б* — когда оно мало. По изме-

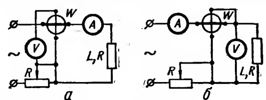


Рис. II.24. Схемы для определения индуктивного и активного сопротивлений.

ренным току I, напряжению U и мощности P можно определить полное сопротивление Z, активное сопротивление

$$R = \frac{P}{I^2}\ [ом] \tag{II.45}$$

и реактивное (в данном случае индуктивное) сопротивление

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{\sqrt{U^2 I^2 - P^2}}{I^2}\ [ом]. \tag{II.46}$$

Индуктивность L определяется как

$$L = \frac{X}{\omega} = \frac{X}{2\pi f}\ [гн]. \tag{II.47}$$

Определение взаимной индуктивности

Метод вольтметра — амперметра. По этому методу собирают схему согласно рис. II.25. В первичной цепи устанавливается ток I и измеряется соответствующая ему э. д. с. E, индуктируемая во вторичной цепи (сопротивление вольтметра должно быть возможно бо́льшим).

Взаимоиндуктивность M определяют из выражения

$$M = \frac{E}{I\omega} \text{ [гн]}. \qquad (II.48)$$

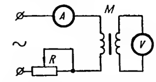


Рис. II.25. Схема для определения взаимной индуктивности.

Метод последовательного соединения катушек. Катушки взамоиндуктивности соединяют последовательно друг с другом так, чтобы создаваемые ими потоки складывались согласно. Затем включают вольтметр, амперметр и ваттметр по схеме, приведенной на рис. II.26 и определяют индуктивность

$$L_1 = \frac{\sqrt{U_1^2 I_1^2 - P_1^2}}{2\pi f I_1^2} \text{ [гн]}.$$

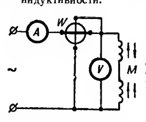


Рис. II.26. Схема для определения взаимной индуктивности при последовательном соединении катушек.

После этого катушки взаимоиндуктивности включают встречно и повторяют измерения:

$$L_2 = \frac{\sqrt{U_2^2 I_2^2 - P_2^2}}{2\pi f I_2^2} \text{ [гн]}.$$

Взаимоиндуктивность

$$M = \frac{L_1 - L_2}{4} \text{ [гн]}. \qquad (II.49)$$

Измерение емкости

Метод вольтметра, амперметра и ваттметра. Если потерями в конденсаторе можно пренебречь, емкость, измеряемую согласно схеме на рис. II.24, определяют как

$$C = \frac{I 10^6}{U 2\pi f} \text{ [мкф]}. \qquad (II.50)$$

Когда потерями пренебречь нельзя,

$$C = \frac{I^2 10^6}{2\pi f \sqrt{U^2 I^2 - P^2}} \text{ [мкф]}. \qquad (II.51)$$

Метод непосредственного измерения емкости. Для измерения емкости применяют приборы типа логометра, отградуированные в фарадах (микрофарадах), фарадметры (микрофарадметры).

Емкость может быть измерена также универсальными приборами (в том числе и электронными).

Микрофарадметр типа Д-524 предназначен для измерения емкости конденсаторов с рабочим напряжением не ниже 150 *в* эффективных и тангенсом угла диэлектрических потерь не более 3%. Система прибора — электродинамическая, Класс точности 1,0. Питание прибора осуществляется от сети 127 *в*. Пределы измерения (верхние) 1; 2; 5 и 10 *мкф*. Рабочая часть шкалы 100%. Длина шкалы 150 *мм*. Потребляемая мощность не больше 70 *ва*. Допустимые отклонения электрических величин от номинальных, при которых изменение показаний прибора не превосходит ±1%: частота 10%; напряжение 10%.

Метод моста переменного тока. Емкость чаще всего измеряют переносными мостами переменного тока. Широкое распространение в наладочной практике получил мост типа МД-16 (см. гл. III и IV).

9. Поверка электроизмерительных приборов

При выполнении наладочных работ иногда возникает необходимость в поверке электроизмерительных приборов. Повреждения приборов (поломка или износ камней и кернов, обрыв или замыкание обмоток и т. п.) происходят либо при перевозке, либо при монтаже, либо в процессе длительной эксплуатации. Кроме поверок, производимых наладочной или эксплуатирующей организацией (ведомственных), периодически осуществляются поверки представителями Комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР. Каждый прибор должен иметь клеймо, свидетельствующее о прохождении государственной поверки.

В процессе поверки выполняются следующие операции: внешний осмотр, предварительные испытания, сборка схемы, поверка показаний прибора.

При внешнем осмотре выявляют дефекты, которые заведомо препятствуют нормальной работе прибора, хотя иногда и не влияют на правильность его показаний (например, поломка стекла, нарушение уплотнения, окраски, никелировки, контактных соединений и т. п.).

В состав предварительных испытаний входят измерение сопротивления и проверка изоляции прибора (величина испытательного напряжения указывается на шкале), проверка уравновешенности подвижной части (при отклонении прибора на 5—10° от нормального положения не должно быть изменений его показаний) и поверка времени успокоения колебаний.

При сборке схемы поверки необходимо использовать в качестве образцовых приборов такие, максимально допустимые погрешности

которых, по крайией мере, в пять раз меиьше погрешностей проверяемого прнбора:

Класс поверяемого прнбора	Вид или класс образцового прибора
4,0; 2,5	0,5
1,5; 1,0	0,2
0,5	0,1
0,2; 0,1	Потенциометр

Поверка показаиий прнбора заключается в том, что поверяемым и образцовым прнборами одновремеиио нзмеряют одну н ту же величнну н определяют прнведенную отиосительиую погрешиость (на каждом оцифрованиом деленнн поверяемого прнбора):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{A_x - A_0}{A_в - A_н}, \qquad (II.52)$$

где A_x и A_0 — показаиня соответствеиио поверяемого и образцового приборов; $A_в$ и $A_н$ — соответственно верхинй н ннжинй пределы шкалы поверяемого прнбора.

Велнчииа $\varepsilon_{\text{пр}}$ ии иа одном нз оцифрованных делеиий шкалы не должна превышать класса точности поверяемого прибора.

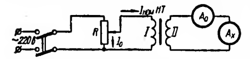


Рис. II.27. Схема поверки вторичных амперметров переменного тока.

Условия определення погрешностн предусмотрены соответствующнмн ГОСТами. К этим условням относятся: а) отсутствне влияиня внешних факторов, такнх как магиитиые н электростатнческне поля н др., могущих исказнть показания приборов; б) нормальный режнм прнборов (напряженне, частота); в) нормальное положение прнборов (согласио знаку на шкале); г) предварнтельная устаиовка стрелкн (указателя) на иуль с помощью корректора; д) предварнтельиый прогрев прнборов номииальным током в течеине 15 *мин* (но не меиьше).

При поверке щнтовых приборов и переиосных лабораторных приборов класса 0,5 чаще всего нспользуют метод слнчення. Щитовые приборы обычио поверяют иа месте их установкн, переносиые — в лабораторных условиях. Для поверки прнмеияют специальные поверочные устройства илн собнрают временную схему иа месте.

Для поверкн амперметров перемеииого тока со шкалой до 5 *а*, которые обычно примеияют в электросиловых устаиовках, собирают схему согласно прнведенной на рнс. II.27. Мощность нагрузочного трансформатора (НТ) может не превышать 30 *ва* прн вторичном на-

пряжении 6 *в*. Сопротивление ползункового реостата R должно быть примерно 200—300 *ом* для обеспечения плавной регулировки тока во всех частях шкалы поверяемого A_x и образцового A_0 амперметров. Вместо реостата может быть применен регулировочный автотрансформатор (АТ).

Амперметры переменного тока прямого включения с пределом измерения до 300 *а* поверяют по схеме, указанной на рис. II.28. Регулировочный АТ выбирают на ток 8 *а* (ЛАТР-1, РНО-250-2), нагрузочный трансформатор HT имеет мощность 500 *ва*, вторичное напряжение 6 *в*. Амперметр A_0 включают через лабораторный трансформатор тока TT_0, первичный ток которого равен номинальному току поверяемого амперметра A_x.

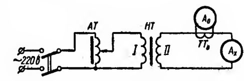


Рис. II.28. Схема поверки амперметров переменного тока непосредственного включения.

По сути дела, амперметры постоянного тока, рассчитанные на включение с наружными шунтами, представляют собой милливольтметры; их поверяют отдельно от шунтов, согласно схемам на рис. II.29. Сопротивление реостатов: по схеме II.29, *а* $R_1 = R_2 = (100—300)$ *ом;* по схеме II.29, *б* $R_1 = 10$; $R_2 = (100—300)$ *ом*.

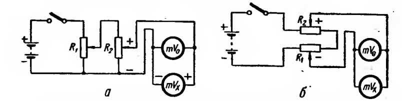


Рис. II.29. Схемы поверки амперметров постоянного тока, рассчитанных на включение с наружными шунтами.

Образцовый милливольтметр mV_0 присоединяют к схеме калиброванными проводами; для поверяемого прибора mV_x сопротивление проводов должно быть равно значению, указанному на шкале. Одновременно с поверкой милливольтметра следует измерить сопротивление проводов, связывающих его с шунтом. Подгонка сопротивления этой цепи производится либо изменением сечения соединительных проводов, либо с помощью подгоночной катушки, помещенной внутри милливольтметра.

Для проверки амперметров постоянного тока без наружных шунтов с пределами измерения 100 *а* и больше используют схему

(рис. II.30) со ступенчатым реостатом R_1 и ползунковым реостатом R_2, служащими для плавной регулировки тока. Источником питания в этой схеме может служить переносная аккумуляторная батарея или генератор постоянного тока.

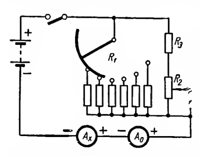


Рис. II.30. Схема поверки амперметров постоянного тока с внутренним шунтом.

В условиях наладки для той же цели более предпочтительна схема, приведенная на рис. II.31, в которой используется источник питания переменного тока с последующим выпрямлением его селеновыми или германиевыми выпрямителями *В*. Конденсаторы *С* (электролитические, емкостью от 2000 до 20 000 *мкф* на 20 *в*) служат для сглаживания пульсаций выпрямленного тока. Последовательное включение двух регулировочных АТ позволяет более плавно регулировать величину тока.

Вольтметры переменного тока проще всего поверить по схеме на рис. II.32, где напряжения изменяются регулировочным АТ и (более плавно) ползунковым реостатом *R* (на 100 *ом*).

Для поверки вольтметров с пределами измерения от 3 до 600 *в* удобна переносная установка, схема которой приведена на рис. II.33. В этой схеме имеется нагрузочный трансформатор с отпайками вторичной обмотки на 3; 15; 75; 150; 300 и 650 *в* (мощность прибора 100—200 *ва*).

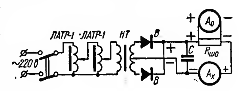


Рис. II.31. Схема поверки амперметров постоянного тока с помощью выпрямителей.

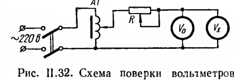


Рис. II.32. Схема поверки вольтметров переменного тока.

Для поверки милливольтметров переменного тока, главным образом ламповых, используют схему, указанную на рис. II.34. Поверяемый милливольтметр V_x включают через делитель напряжения, собранный на активных сопротивлениях R_1 и R_2 с соотношением плеч 10 000 : 1 и больше; в качестве образцового применяют лабораторный вольтметр V_0 с пределами измерения 75—150 *в*.

Вольтметры постоянного тока можно поверить согласно схеме на рис. II.32. В этом случае вместо регулировочного АТ применяют

регулировочный потенциометр; источник переменного тока заменяют аккумуляторной батареей или сухими элементами. Для поверки вольтметров широко применяют также схемы с выпрямителями.

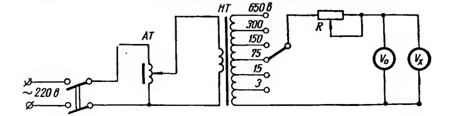


Рис. II.33. Принципиальная схема переносной установки для поверки вольтметров напряжением до 600 *в*.

Трехфазные двухэлементные ваттметры W_x, наиболее часто применяющиеся в электроустановках, поверяют по схеме с искусственным разделением цепей тока и напряжения (рис. II.35). В этом случае величину тока и напряжения в фазах регулируют регулировочными автотрансформаторами AT_1 и AT_2 и реостатами R (только тока). Требуемый угол сдвига фаз между током и напряжением устанавливают фазорегулятором ФР.

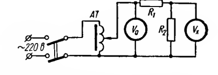


Рис. II.34. Схема поверки милливольтметров переменного тока (ламповых).

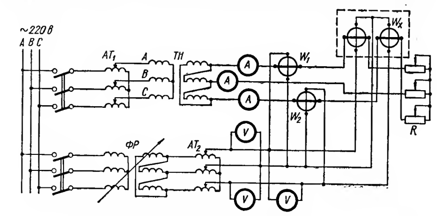


Рис. II.35. Принципиальная схема переносной установки для поверки трехфазных ваттметров.

В качестве образцовых нспользуют два лабораторных одиофазиых ваттметра W_1 и W_2.

По этой схеме можио проверпть также трехфазный фазометр, включив его вместо ваттметра W_x. Образцовыми прнборами могут быть те же ваттметры W_1 и W_2.

Часто поверить трехфазиые ваттметры по указаиной схеме в условиях наладки крайне затруднительио. Тогда допустнмо проводнть поверку в одиофазной схеме.

Обмоткн двух- н трехэлементных трехфазных ваттметров соединяют, как указано на рнс. II.36, т. е. все токовые обмоткн — пос-

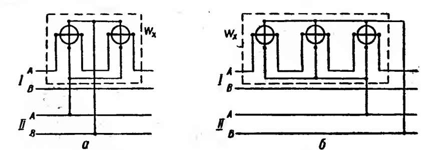


Рис. II.36. Схемы соединения обмоток трехфазных ваттметров при поверке нх в однофазной схеме.

ледовательио, а обмотки напряжения — параллельио. Показания поверяемых ваттметров W_x сравннвают с показаниямн одиофазиого ваттметра. Для схемы иа рнс. II.36, *а* его показаиия следует умножать иа два, для схемы на рнс. II.36, *б* — на три.

10. Измерение времен

Время длительиостью в иесколько мннут или часов измеряют обычиымн ручиымн лнбо стацнонарнымн часами. Промежутки времеин от нескольких секунд до несколькнх мннут измеряют пружинымн секундомерамн (хронометрами). Пуск и остановка такого секуидомера осуществляется нажатнем иа спусковой механизм.

При нзмерении времени от 0,1 до 10 *сек* в наладочной практике широко прнмеияют электрические секундомеры (рис. II.37). Схема соедииенй переиосиого лабораториого электрического секуидомера приведена иа рис. II.38. Секундомер можно остаиовить, отключая его от сети либо шуитируя поляризоваиное реле ПР прн замыкаиии иакоротко зажимов 0 и *. Пуск секундомера осуществляется при выполненин обратных операций.

Секундомер типа ПВ-53Л. Номинальное напряжение питания 110 и 220 *в*; допустимые колебания напряжения ± 20%. Номинальная частота 50 *гц*. Цена деления большой шкалы 0,01 *сек*, верхний предел 1 *сек*; цена деления малой шкалы 1 *сек*, верхний предел 10 *сек*. Погрешность (максимальная) при номинальной частоте в диапазоне от 0 до 3 *сек* составляет ±0,03 *сек*, в диапазоне от 3 до 10 *сек* — ±0,05 *сек*. Потребляемая мощность 5 *ва* при 110 *в* и 10 *ва* при 220 *в*.

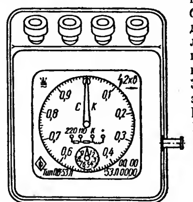


Рис. II.37. Внешний вид электрического секундомера.

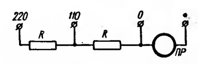


Рис. II.38. Схема соединений электрического секундомера ПВ-53Л.

Для надежного измерения сотых, тысячных, десятитысячных долей секунды применяют милли- и микросекундомеры.

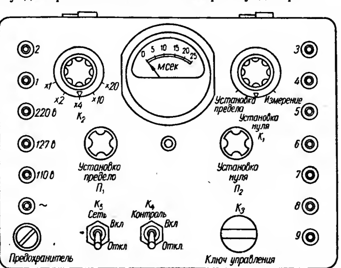


Рис II.39. Общий вид передней панели миллисекундомера типа ЭМС-54.

Миллисекундомер типа ЭМС-54 (рис. II.39) представляет собой электронный прибор, принцип действия которого основан на измерении катодным вольтметром остаточного напряжения U конденсатора C, заряжаемого током I, неизменной величины. Напряжение

$$U = \frac{It}{C}. \tag{II.53}$$

Так как напряжение пропорционально времени протекания тока t, шкала прибора может быть отградуирована в единицах времени.

Миллисекундомер типа ЭМС-54 имеет пять пределов измерений времени: 0—25; 0—50; 0—100; 0—250; 0—500 *мсек* и три предела напряжения питания (переменного тока) — 110, 127, 220 *в*.

11. Измерение температуры

Необходимость измерения температуры возникает при испытании на нагрев, измерении сопротивления постоянному току, проверке изоляции, измерении $\mathrm{tg}\,\delta$ и т. д.

Наиболее часто применяют следующие методы измерения температуры: а) жидкостно-стеклянных термометров расширения; б) термоэлектрический; в) термометров сопротивления; г) индикаторов температуры.

Метод жидкостно-стеклянных термометров расширения

Жидкостно-стеклянные термометры выпускают заполненными ртутью или спиртом. Спиртовые термометры применяют реже; им отдается предпочтение при измерении в зоне действия сильных магнитных полей. Термометры разделяют на лабораторные палочные (толстостенная массивная трубка с нанесенной на ней шкалой), лабораторные со вложенной шкалой (в том числе и нормальные — с ценой деления 0,1° С), технические, прямые и угловые. Так как термометры на заводе градуируют при полном погружении их в нагреваемую среду, а работают они чаще всего при соприкосновении с нагретым телом или средой только баллончика и части капилляра, то при измерении следует вносить поправку на температуру выступающего столбика ртути:

$$\Delta t = kh\,(t_{\text{т}} - t_{\text{в}})\,[^\circ\text{C}], \tag{II.54}$$

где k — коэффициент расширения жидкости в стеклянном капилляре, обычно $k = 0{,}000167$; h — высота выступающего столбика, °С; $t_{\text{т}}$ — показания термометра, °С; $t_{\text{в}}$ — температура окружающего воздуха, измеренная контрольным термометром, °С.

Поправку алгебраически складывают с основными показаниями термометра. Термометр должен быть расположен так, чтобы удобно было снимать показания. Если измеряют температуру потока жидкости или газа, баллончик термометра нужно располагать в центре потока под углом к оси трубопровода, навстречу потоку. При измерении температуры в трубопроводах или резервуарах, находящихся под давлением, термометры вставляют в запаянные трубки, вваренные в месте измерения температуры. Для улучшения теплопередачи трубки заполняют маслом или медными опилками.

Термоэлектрический метод измерения температуры

Этот метод основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников (термопар), протекает постоянный электрический ток, при условии разности температур обоих спаев. Величина тока, протекающего по этой цепи,

$$I = \frac{E}{R} \, [\textit{ма}], \tag{II.55}$$

где R — сопротивление цепи, *ом*; E — термо-э. д. с., пропорциональная разности температур спаев термопары,

$$E = f(\Delta t). \tag{II.56}$$

Э. д. с. может быть измерена милливольтметром, потенциометром, гальванометром или другим чувствительным прибором, включенным в цепь термопары.

Более нагретый спай термопары называют горячим, менее нагретый — холодным. Если холодный спай поместить в термостат с температурой 0° С (обложить его тающим льдом), показания измерительного прибора будут пропорциональны температуре горячего спая. Горячий спай может быть выполнен очень малым по размерам и помещен для измерения температуры в труднодоступные места; ему можно придать форму иглы или пластинки.

В общем случае, когда температура холодного спая $t_{\text{х}}$ равняется не нулю, а температуре окружающей среды, величина измеряемой таким методом температуры

$$t_{\text{г}} = \Delta t + t_{\text{х}}, \tag{II.57}$$

где Δt — разность температур спаев, измеренная электрическим прибором, °С.

В практике нашли применение такие термопары: а) хромель — копелевые (ХК) — термо-э. д. с. на 100° С равняется 6,95 *мв*; б) хромель — алюмелевые (ХА) — термо-э. д. с. на 100° С составляет 4,1 *мв*; в) платинородий — платиновые (ПП) — термо-э. д. с. на 100° С рав-

няется 0,64 *мв*; г) медь — константановые (МК) — термо-э. д. с. на 100° С составляет 4,16 *мв*.

В испытательно-наладочной практике термо-э. д. с. чаще всего измеряют переносными потенциометрами типа ПП (рис. II.40) или КП-59.

Основные характеристики потенциометра ПП. Пределы измерений 0—71 *мв*. Класс точности 0,2. Параметры гальванометра: а) постоянная по напряжению — не больше 10^{-4} *в/дел*; б) внутреннее сопротивление — от 20 до 30 *ом*;

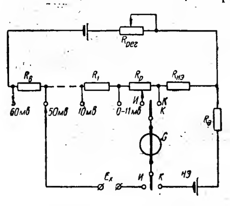


Рис. II.40. Принципиальная схема переносного потенциометра типа ПП:
$R_{рег}$ — регулировочный реостат; $R_р$ — реохорд потенциометра; $R_б$ — R_1 — сопротивления для ступенчатого изменения пределов измерения э. д. с.; $R_{нэ}$ — образцовое сопротивление, падение напряжения, на котором сравнивают с э. д. с. нормального элемента НЭ при установке рабочего тока; $R_д$ — защитное сопротивление НЭ; E_x — измеряемая э. д. с.; *И* и *К* — положения переключателя соответственно при измерении и контроле.

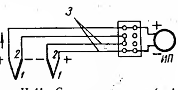


Рис. II.41. Схема встречного (дифференциального) включения термопар:
1 — рабочие концы термопар; *2* — свободные концы термопар; *3* — соединительные провода; *ИП* — измерительный прибор.

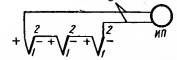


Рис. II.42. Схема термобатареи. Обозначения те же, что на рис. II.41.

в) внешнее критическое сопротивление — от 30 до 70 *ом*. Габаритные размеры потенциометра 185 × 90 × 235 *мм*; вес 5,5 *кг*.

При пользовании термоэлектрическим методом можно измерять разность температур в двух точках (рис. II.41). Для повышения термо-э. д. с. термопары можно включать последовательно, образуя термобатареи (рис. II.42).

Метод термометров сопротивления

Рассматриваемый метод основан на свойстве электрических проводников изменять свое сопротивление в зависимости от температуры. Зная зависимость между изменением сопротивления постоянному току проводников и температурой, можно, измеряя сопротивление, определять температуру проводников.

К достоинствам этого метода можно отнести высокую точность при небольших отклонениях измеряемой температуры от окружающей, возможность дистанционного измерения температуры (так же, как и с помощью термопар), возможность измерения средней температуры протяженных объектов (стержней обмотки электрической машины и др.).

Термометр сопротивления представляет собой тонкую медную или платиновую проволоку (реже применяются другие металлы), намотанную на каркас и заключенную в защитную арматуру (рис. II.43). Величина сопротивления в процессе испытаний определяется с помощью переносного моста постоянного тока; в стационарных условиях для этой цели применяют логометры или автоматические мосты.

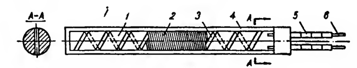


Рис. II.43. Схема платинового термометра сопротивления:
1 — слюдяные накладки; 2 — пластинка; 3 — обмотка; 4 — чехол; 5 — фарфоровые изоляторы; 6 — серебрянные выводы.

Температура, определяемая этим методом, в первом приближении может быть вычислена по таким формулам: для медных термометров сопротивления

$$t = \frac{R - R_0}{R_0}(235 + t_0) + t_0; \tag{II.58}$$

для платиновых

$$t = \frac{R - R_0}{R_0}(255 + t_0) + t_0, \tag{II.59}$$

где R и R_0 — сопротивление соответственно при температуре t и начальной температуре t_0 (обычно 0° С).

Более точно температуру можно определить с помощью градуировочных таблиц (ГОСТ 6651—59).

При определении температуры электрических проводников (обмоток машин, трансформаторов и аппаратов, сопротивлений, реостатов и т. п.) рассматриваемый метод может быть использован при непосредственном измерении сопротивлений этих проводников.

Метод индикаторов температуры

Иногда при испытательно-наладочных работах, особенно носящих исследовательский характер, используют метод индикаторов температуры.

Различают индикаторы температуры следующих видов: 1) теплочувствительные красители; 2) термохимические индикаторы; 3) легкоплавкие металлы и сплавы.

Теплочувствительными красителями называют вещества, способные заметно изменять свой цвет по достижении определенной температуры. Красители применяют в виде красок или карандашей. Цвет некоторых красителей восстанавливается после охлаждения (обратимые красители); у некоторых измененный цвет остается после охлаждения (необратимые красители). Последние используют для определения температуры тех частей электрооборудования, которые недоступны для осмотра в процессе их работы. Следует отметить, что точность определения температур с помощью теплочувствительных красителей невысока.

К термохимическим индикаторам относят следующие соединения:

Индикатор	Температура плавления, °C
Пальметиновая кислота . . .	60
Стеариновая кислота	70
Нафталин	80
Лейканилин	100
Резорцин	110
Ангидрид бензойный	120
Пирагалол	132

Это соединения небольшими дозами (0,5—1 *г*) засыпают в слюдяные облатки, которые прикрепляют затем тафтяной или шелковой лентой к месту измерения температуры. Вместо облаток можно применять небольшие стеклянные патрончики, запаянные с обоих концов электрической дугой.

Таблица II.15

Состав и температура плавления легкоплавких сплавов

Температура плавления, °C	Содержание, %				Наименование
	Висмут	Кадмий	Олово	Свинец	
68,0	49,5	10,1	13,1	27,3	Сплав Вуда
91,5	51,7	8,1	—	40,2	Тройная эвтектика
95	52,0	—	16,0	32,0	То же
102,5	53,9	20,2	25,9	—	» »
125	56,5	—	—	43,5	Двойная эвтектика
139	58,0	—	42,0	—	То же
144	60,0	40,0	—	—	» »
176	—	32,5	67,5	—	» »
183	—	—	63,5	36,5	» »
232	—	—	100	—	Олово
248	—	17,5	—	82,5	Двойная эвтектика
271	100	—	—	—	Висмут
321	—	100	—	—	Кадмий
327	—	—	—	100	Свинец

Легкоплавкие сплавы в качестве индикаторов применяют либо в виде небольших табличек правильной формы, либо в виде заклепок, плотно забиваемых в специально высверленные отверстия. Так как температура плавления сплавов зависит от точности соблюдения рецептуры и от чистоты входящих в них составных частей, ее периодически следует проверять. Основные составляющие легкоплавких сплавов, применяемых для измерения температуры: висмут, кадмий, олово, свинец (табл. II.15).

12. Скорость вращения

При испытательно-наладочных работах часто приходится измерять скорость вращения роторов электрических машин или связанных с ними частей. Наибольшее распространение получил способ измерения скорости вращения с помощью центробежных тахометров (стационарных и переносных).

Тахометр типа ИО-10 (рис. II.44) снабжен набором принадлежностей, служащих для присоединения вала тахометра к вращающимся деталям машин. Чаще всего используют наконечники с резиновым и стальным граненым центром, которые служат для соприкосновения с коническим углублением в торце вала машины.

Наконечник с резиновым центром применяют при измерении больших скоростей, со стальным — для малых и средних. Прижимать тахометр при измерениях нужно так, чтобы оси валов машины и тахометра совпадали и не было проскальзываний наконечника. В наборе имеется резиновый круглый наконечник, предназначенный для измерения скорости вращения при соприкосновении с наружными вращающимися поверхностями вала или шкива. При пользовании наконечником показания тахометра $n_т$ должны быть пересчитаны пропорционально отношению диаметров наконечника $d_т$ и вращающейся детали $D_в$. Тогда фактическая скорость вращения

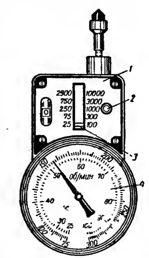


Рис. II.44. Общий вид центробежного тахометра типа ИО-10:
1 — шкала; *2* — кнопка переключения; *3* — указатель пределов; *4* — циферблат

$$n = n_т \frac{d_т}{D_в}. \quad (II.60)$$

При пользовании шнуром, также входящим в набор, с помощью которого создается передача, напоминающая ременную, производится аналогичный расчет.

Скорость вращения, кроме тахометра, может быть измерена одним из описанных ниже приборов:

1) с помощью счетчика оборотов и пружинного секундомера; при этом средняя за определенный промежуток времени скорость определяется как частное от деления числа оборотов на время;

2) тахоскопом — прибором, объединяющим в себе счетчик оборотов и секундомер; выпускаемые отечественной промышленностью тахоскопы типа 94П имеют более высокую точность, чем тахометры;

3) вибрационным тахометром, «язычки» которого настраивают на различные частоты колебаний, соответствующие различным скоростям вращения машины;

4) частотометром, связанным со вспомогательными синхронными машинами, приводимыми в движение от вала испытуемого агрегата, или непосредственно с испытуемой машиной;

5) тахогенератором — небольшой электрической машиной постоянного или переменного тока — со вторичными приборами (вольтметрами), градуированными в единицах скорости вращения.

Стробоскопический метод измерения скорости вращения заключается в том, что на вращающуюся деталь предварительно наносят метку, которую затем освещают прерывистым источником света (газосветной трубкой, лампой накаливания, перед которой вращается диск с отверстиями, и т. п.). Частоту перерывов освещения контролируют и регулируют в нужных пределах. Изменяя частоту добиваются такого положения, при котором метка на вращающейся детали кажется неподвижной (стробоскопический эффект); при этом частота перерывов равна числу оборотов детали.

Этот метод особенно эффективен при испытаниях маломощных машин, когда использование других методов, создающих заметные тормозные моменты, может влиять на скорость вращения.

В последние годы отечественной промышленностью освоен выпуск портативных стробоскопических тахометров типа ПСТ-1М.

13. Вибрация при работе электрических машин

Вибрацией называют колебания, имеющие сравнительно небольшую амплитуду и высокую частоту. Источником вибрации, как правило, являются вращающиеся машины, реже — аппараты. Величины, характеризующие вибрацию (амплитуда, частота, фаза), измеряют виброметрами и вибрографами различных типов.

Виброметр с индикатором. Индикатор часового типа представляет собой систему связанных между собой рычагов и шестерен, усиливающих движения стержня и преобразующих их в показания прибора. Обычно перемещение измерительного стержня индикатора на 1 *мм* соответствует одному полному обороту стрелки; цена деления и, следовательно, величина перемещения стержня, которую можно надежно измерить, соответствует 0,01 *мм*.

При измерении вибрации с помощью индикатора стрелка его совершает колебательные движения между двумя отметками циферблата (шкалы), разность которых представляет собой удвоенную амплитуду колебаний (вибрации). Величина удвоенной амплитуды колебаний и нормируется действующими правилами и нормами.

Для более точного измерения вибрации индикатор помещают в инерционную массу, чаще всего — в массивное стальное или свинцовое кольцо. На таком принципе выполнен виброметр Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ). Подобными виброметрами могут быть измерены вибрации с частотой, не превышающей 12 *гц* (это соответствует скорости вращения приблизительно 750 *об/мин*).

Виброграф типа ВР-1 служит для записи кривой вибрации на ленте. Допустимые удвоенные амплитуды вибрации, измеряемые вибрографом — от 0,005 до 6 *мм*, допустимые частоты — от 5 до 100 *гц* (300 — 6000 *об/мин*). В виброграф встроен отметчик времени; интервал времени срабатывания отметчика 1 *сек*. Виброграмма обрабатывается с помощью портативного микроскопа, входящего в комплект прибора. Габаритные размеры вибрографа 80 × 130 × 188 *мм*. Вес 1,6 *кг*.

Виброграф типа ВР-3. Допустимая амплитуда вибрации от 0,02 до 0,5 *мм*, допустимые частоты от 15 до 60 *гц* (900—3600 *об/мин*).

Виброметр электрооптический типа ВЭП-4 состоит из электродинамического вибродатчика типа ВД-4, зеркального гальванометра и оптической увеличительной системы. Пределы измерения виброметра ВЭП-4 по удвоенной амплитуде — от 0,005 до 0,5 *мм*, по частоте — от 15 до 80 *гц* (900—4800 *об/мин*). Габаритные размеры прибора 260 × 125 × 292 *мм*.

Виброизмерительный прибор типа БИП-4 предназначен для измерения амплитуды, скорости и ускорения линейного колебательного движения, измерения частоты и сдвига фазы колебаний и наблюдения за формой кривой колебаний.

Прибор состоит из двух вибродатчиков типа ВД-4 и измерительного блока, представляющего собой специализированный электронный осциллограф. Кривая вибрации в определенном масштабе рассматривается на экране осциллографа; при этом определяется удвоенная амплитуда и частота ее.

Пределы измерения виброизмерительного прибора по удвоенной амплитуде — от 0,005 до 1,2 *мм*, по частоте — от 15 до 200 *гц* (900—12000 *об/мин*). Габаритные размеры прибора 325 × 205 × 420 *мм*. Вес 14,5 *кг*.

14. Давление и расход жидкости и газа

Измерение давления

Давление жидкости и газа измеряют с помощью манометров и напоромеров (до 2500 *мм вод. ст.*), которые по принципу действия разделяют на пружинные и жидкостные.

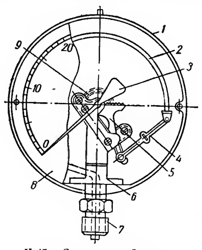


Рис. II.45. Схема устройства пружинного манометра:

1 — корпус; *2* — трубчатая пружина; *3* — стрелка; *4* — поводок; *5* — зубчатый сектор; *6* — стойка; *7* — штуцер; *8* — шкала; *9* — волосок.

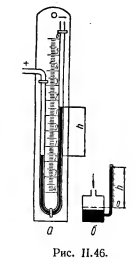


Рис. II.46. Жидкостные манометры:

а — двухтрубный (U-образный); *б* — однотрубный (чашечный).

Пределы шкалы пружинного манометра определяются жесткостью его пружины (рис. II.45). В манометрах на низкие давления и тягомерах применяют металлические мембраны. Жидкостные манометры делят на двухтрубные (*U*-образные) и однотрубные (рис. II.46).

Давление, измеряемое с помощью жидкостных манометров, как правило, оценивается в миллиметрах столба той жидкости, которая в него залита (например, *мм вод. ст.*, *мм рт. ст.* и т. д.). При необходимости производят пересчет с учетом плотности измеряемой жидкости.

Для измерения малых давлеиий широкое распространение получили наклонные жидкостные тягомеры (рис. II.47). Наклон шкалы позволяет сделать ее более растянутой и, следовательно, более точной.

При измерении давления газа жидкостные манометры заполняют водой или спиртом; при измерении давления жидкости в качестве заполнителя применяют ртуть.

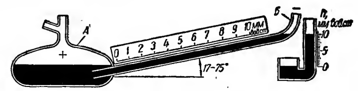


Рис. II.47. Наклонный тягомер.

Определение расхода газа

Существующие методы определения расхода газа основаны на разбивке сечения газовода на ряд одинаковых по площади элементов и измерений средней скорости движения газа в каждом элементе.

Расход газа определяют из выражения

$$Q = S\sum_{1}^{n} v_i 3600 \ [м^3/час], \qquad (II.61)$$

где S — площадь одного элемента, $м^2$; v_i — скорость газа в отдельном элементе, *м/сек*; n — количество элементов площадью S в сечении газовода.

При испытаниях обычно применяют один из следующих методов измерения скорости газа: 1) метод крыльчатого (или чашечного) анемометра; 2) метод электроанемометра; 3) метод пневмометрической трубки.

Метод крыльчатого анемометра. Этот метод заключается в следующем. Анемометр помещают в поток газа, крыльчатка прибора начинает вращаться и связанная с ней стрелка показывает путь, пройденный потоком газа относительно анемометра. Для определения скорости газа анемометр следует применять совместно с секундомером.

Скорость газа можно определить по формуле

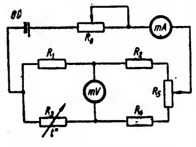
$$v = \frac{A_2 - A_1}{t} \ [м/сек], \qquad (II.62)$$

где A_1 и A_2 — показания анемометра соответственно в начале и конце измерения; t — время измерения, *сек*.

При работе с крыльчатым анемометром ось вращения крылаткн должна совпадать с направлением струи газа, а при работе с чашечным осн крылатки н струи должны быть перпендикулярны друг другу.

Метод электроанемометра. Электроанемометры применяют для измерения небольших скоростей газа (до 1 *м/сек*). Использование их для измерения скорости движения горячих газов не допускается.

Существует несколько типов электроанемометров. В одной нз конструкцнй анемометра применена неуравновешенная мостовая схема, два плеча которой R_1 и R_3 выполнены из вольфрамовых нитей (рис. II.48). Одна нз этих нитей (R_3) является датчиком анемометра и помещается в поток. Поток охлаждает вольфрамовую нить н изменяет ее сопротивление, влияя тем самым на уравновешенность мостовой схемы и показания прибора (милливольтметра), градуированного в единицах скорости.



Рнс. II.48. Схема электроанемометра:

R_2 и R_4 — манганиновые сопротивления; R_1 и R_3 — вольфрамовые сопротивлення (компенсационное н измерительное); R_5 — нулевой реостат; R_6 — токовый реостат.

Метод пиевмометрической трубки (трубки Прандтля). Пневмометрическая трубка Прандтля представляет собой две скрепленные по длине трубки. Часто одна трубка помещается внутрь другой. Входное отверстие одной трубкн расположено так, что оно совпадает с осью потока; входные отверстия другой трубки расположены в плоскостн, перпендикулярной оси потока. Благодаря такому расположению во второй трубке ощущается только статическое давление $h_{\text{т}}$, не завнсящее от скорости потока, а в первой — сумма статнческого и динамнческого (скоростного) давления: $h_{\text{ст}} + h_{\text{дин}}$.

Выходные отверстня обеих трубок присоединяются к *U*-образному манометру, как указано на рнс. II.49. Прн таком присоеднненни (дифференцнальном) показания манометра равны только динамическому давлению:

$$(h_{\text{ст}} + h_{\text{дин}}) - h_{\text{ст}} = h_{\text{дин}}.$$

Скорость газа в определенном сечении потока определяется из выражения

$$v = \sqrt{\frac{2gh_{\text{дин}}}{\gamma}}, \qquad (II.63)$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек²*; γ — плотность газа, *кг/м³*; $h_{дин}$ — динамическое давление, *мм вод. ст.*

Согласно (II.61), расход газа

$$Q = S\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}\sum_{1}^{n}\sqrt{h_{дин}}\,3600 \ [м^3/час]. \qquad (II.64)$$

Трубки вводят в газовый канал через специальные отверстия. В каналах прямоугольного сечения эти отверстия выполняют на более узкой стороне (рис. II.49); в круглых каналах отверстия находятся в двух точках, расположенных на взаимно перпендикулярных осях сечения. В первом случае входной конец трубки последовательно располагают в центре воображаемых прямоугольных площадок, на которые разбито сечение газовода; во втором — в точках, соответствующих серединам воображаемых колец, образованных при делении сечения.

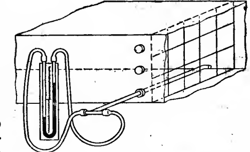


Рис. II. 49. Схема измерения расхода газа пневмометрической трубкой.

Измерение расхода жидкости

Расход жидкости (воды или масла) измеряют чаще всего при испытательно-наладочных работах в электроустановках методом мерного бака. Этот простой и точный метод заключается в том, что жидкость, расход которой подлежит определению, сливают в процессе испытаний в емкость определенного объема.

Если объем емкости обозначить V, а продолжительность ее заполнения t, то расход жидкости можно определить как

$$Q = \frac{V}{t} \ [м^3/мин]. \qquad (II.65)$$

Расход жидкости может быть измерен также по методу трубки Прандтля. При этом необходимо обеспечить надежное уплотнение тех отверстий, через которые трубка вводится в трубопровод. В некоторых случаях для измерения расхода жидкости применяют механические водомеры и ротаметры.

Широкое распространение получил способ измерения расхода жидкости с помощью сужающих устройств (главным образом диафрагм) в комплекте с дифференциальными манометрами.

При испытании систем охлаждения электрических машин используют метод определения расхода жидкости (газа), основанный на уравнении теплового баланса при известных расходе газа (жидкости) и температурах на входе и выходе теплообменника (воздухоохладителя).

ГЛАВА III

ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

1. Проверка коммутации

Определенная часть испытательных работ является общей при наладке различных элементов электроустановок. К таким работам относятся проверка коммутации (первичной и вторичной), проверка и испытание изоляции и др. В настоящем разделе рассмотрены общие вопросы проведения этих испытаний; специфические особенности наладки отдельных видов оборудования отражены в соответствующих главах справочника.

В объем проверки цепей первичной и вторичной коммутаций входит следующее.

1. Ознакомление с проектными схемами коммутации как принципиальными (элементными), так и монтажными, а также кабельным журналом.

2. Проверка наличия оборудования и аппаратуры, предусмотренных проектом.

3. Осмотр и проверка соответствия проекту и действующим правилам смонтированных проводов и кабелей (их марки, материала, сечения и др.).

4. Проверка наличия и правильности выполнения маркировки на оконцевателях проводов и жил кабелей, клеммниках, выводах аппаратов.

5. Проверка качества монтажа (надежности контактных соединений, укладки проводов на панелях, прокладки кабелей и т. п.).

6. Проверка схемы соединений методами и средствами, описанными ниже.

Распространение получили следующие методы проверки схем соединений: 1) визуальное прослеживание проводников на панелях (там, где это возможно); 2) прозвонка цепей на панели, а также кабелей (силовых и контрольных); 3) проверка токовых цепей вторичной коммутации при питании ТТ от нагрузочного устройства; 4) проверка магнитосвязанных цепей (обычно цепей ТТ) импульсным методом; 5) проверка коммутации с помощью контрольной лампы (вольтметра); 6) фазировка цепей в многофазных установках;

7) проверка цепей методом опробования работы и взаимодействия всех элементов схемы управления при замыкании контактов аппаратуры («прохлопывание» схемы); 8) снятие векторных диаграмм после включения установок в работу или при искусственных режимах работы установок.

При выполнении наладочных работ схемы соединений проверяют методами, которые наиболее целесообразны в том или ином конкретном случае. Однако прозвонка всех первичных и вторичных цепей ТТ, а также цепей возбуждения синхронных машин (СМ) обязательна во всех случаях наладки.

Цепи первичной и вторичной коммутаций в полном объеме проверяют при приемо-сдаточных испытаниях после окончания монтажа электроустановки. При профилактических испытаниях объем проверки коммутации обычно значительно сокращается. Обнаруженные в процессе проверки ошибки монтажа или другие отступления от проекта устраняют наладчики или монтажники (в зависимости от объема и характера работы). Изменения и отступления от проекта допустимы только после согласования их с проектной организацией. Все изменения указываются тушью на элементной схеме.

2. Прозвонка цепей

В пределах одной панели щита прозвонка цепей может осуществляться с помощью простейшего прозвоночного устройства (рис. III. 1). Устройства такого типа легко изготовить непосредственно на месте проведения наладочных работ. Характерной особенностью прозвоночных устройств с лампочкой является заметное искрение при размыкании цепи, содержащей катушку с железным сердечником; по искрению обычно судят об исправности катушки (отсутствие обрывов и витковых замыканий).

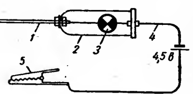


Рис. III.1. Простейшее прозвоночное устройство (пробник):

1 — щуп из медной проволоки диаметром 2,5—4 *мм*, длиной 50—60 *мм*; *2* — пластмассовый просвечивающийся футляр; *3* — лампочка напряжением 2—6 *в*; *4* — зажим типа «Крокодил».

Более совершенным является прозвоночное устройство, содержащее вместо лампы миниатюрный магнитоэлектрический вольтметр. Если вольтметр градуирован в омах, устройство становится по существу омметром, аналогичным серийно выпускаемому прибору типа М-57 (см. гл. II).

При прозвонке цепей на панели или коротких, не выходящих за пределы одного помещения отрезков кабелей можно пользоваться

также понижающнм трансформатором (220/12 *в*) с лампой или мегомметром.

Длнnные отрезкн кабеля, концы которых расположены в разиых помещениях, наиболее рационально прозванивать с помощью двух мнкротелефонных трубок. Телефоны н микрофоны обенх трубок соедняют в последовательную цепочку с источннком постоянного напряження 3—6 *в* (сухне элементы нлн аккумуляторы) через прозваниваемую н вспомогательную жилы кабеля. В качестве обратного провода могут быть использованы также металлнческая оболочка кабеля либо заземленные конструкцин.

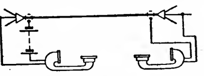


Рис. III.2. Схема прозвоники кабеля с помощью микротелефонных трубок.

Порядок прозвонки по схеме, приведенной на рнс. III.2 (с использованием в качестве обратного провода оболочки кабеля), таков.

1. С обеих сторон отсоединяют все жнлы проверяемого кабеля.

2. Проверяют изоляцию всех жнл кабеля между собой и относительно земли.

3. Два наладчика, находясь на разных концах кабеля, присоединяют трубки к оболочке н находят условную первую жилу. По предварительной договоренности один из наладчиков («ведущий») присоединяет трубку к жиле, а второй («помощник») поочередно касается проводом трубкн всех жил.

4. В момент прнкосновения провода трубки к разыскиваемой жиле в обоих телефонах слышен характерный шорох, свидетельствующий об образованин замкнутой цепи и о возможностн ведения переговоров.

5. «Ведущий» сообщает «помощнику», какая маркировка должна быть на найденной жиле; при несоответствнн маркировки в нее вносят коррективы.

6. Находят следующую жилу аналогично пп. 3 и 4 и устанавливают телефоиную связь.

7. Раиее найденную жнлу на обоих концах кабеля прнсоединяют к клеммникам.

8. Аналогично прозванивают все остальные жилы кабеля.

Если количество прозваниваемых жнл невелико, отсутствуют мнкротелефонные трубкн нлн прозвонку производит один человек, можно воспользоваться схемами, прнведенными на рис. III.3—III.5.

Жилоискатель в схеме на рис. III.5 состоит нз набора сопротивлений (1—5 *ком* и т. д.) н омметра, включаемых на разные концы кабеля. По значению измеренного на каждой жиле сопротивления проверяют ее маркировку.

Иногда прозвонку осуществляют два наладчика с помощью двух пробников (рис. III.6). В этом случае наличие лампочек на обоих концах кабеля позволяет пользоваться условным кодом и исключает

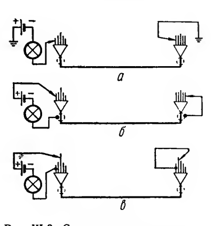


Рис. III.3. Схема прозвонки длинного кабеля пробником:

а — при поочередном заземлении жил на удаленном конце; б — при использовании металлической оболочки кабеля в качестве обратного провода; в — при использовании одной из жил в качестве обратного провода.

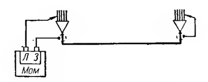


Рис III.4. Схема прозвонки длинного кабеля мегомметром.

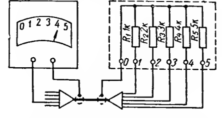
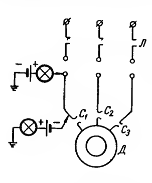


Рис. III.5. Схема прозвонки длинного кабеля жилоискателем.



лишние хождения наладчиков для встречи и переговоров друг с другом. Однако перед прозвонкой необходимо проверять полярность пробников, так как при встречном их включении лампы гореть не будут.

Рис. III.6. Схема прозвонки двумя пробниками.

3. Проверка схем соединения вторичных обмоток ТТ при питании от нагрузочного устройства

Схемы проверки правильности сборки токовых цепей при питании от постороннего источника тока приведены в табл. III.1.

Таблица III.1

Проверка правильности сборки токовых цепей при питании от постороннего источника тока

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
НТ, ТТ, A, B, C, I_A, I_B, I_C, I_0	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_0 = 3\frac{I_1}{K_{TT}}$		Правильно собрана схема звезды
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = = I_0 = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = I_{B'} = = I_{C'} = I_0 = 0$		Оборван нулевой провод
	$I_{A'} = I_{B'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{C'} = 0$; $I_0 = 2\frac{I_1}{K_{TT}}$		Оборвана фаза C
	$I_{A'} = I_{B'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{C'} + I_0 = 2\frac{I_1}{K_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы C

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$		ТТ соединены правильно (последовательно)
	$I = 0$		Изменена полярность одного ТТ или оборвана вторичная цепь
	$I = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$ (нижняя схема)		ТТ соединены правильно (последовательно)
	$I = 0$		Изменена полярность одного ТТ или оборвана вторичная цепь
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$ $I_0 = 2\frac{I}{K_{ТТ}}$		Правильно собрана схема неполной звезды
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$ $I_0 = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = I_{C'} = I_0 = 0$		Оборван нулевой провод
	$I_{A'} = I_0 = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$; $I_{C'} = 0$		Оборвана фаза C
	$I_{A'} = I_{C'} + I_0 = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$		Закорочен ТТ фазы C

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I' = I'' = \frac{I_1}{K_{TT}}$ $I = I' + I'' = 2\frac{I_1}{K_{TT}}$		ТТ включены параллельно
	$I' = 0$ $I'' = I = \frac{I_1}{K_{TT}}$ (верхняя схема)		Оборвана цепь I'
	$I' = I'' = \frac{I_1}{K_{TT}}$ $I = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I' = I'' = I = 0$		Оборвана цепь нагрузки
	$I_{A'} = 2I_{B'} = 2I_{C'} = 2\frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Правильно собрана схема треугольника
	$I_{A'} = 0$ $I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Изменена полярность ТТ фазы B
	$I_{A'} = I_{B'} = I_C = 0$		Оборвана фаза A
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$ $I_{B'} = 0$		Оборвана цепь ТТ фазы B
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{1}{2} I_B$ $I_{B'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы А

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$ $I_{A'C'} = 2\frac{I_1}{K_{TT}}$		Правильно собрана схема на разность токов
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$ $I_{A'C'} = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = 0$ $I_{C'} = I_{A'C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Оборвана фаза *A*
	$I_{A'} = I_{C'} = I_{AC} = 0$		Оборвана цепь нагрузки
	$I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$ $I_{C'} = I_{A'} + I_{A'C'}$		Закорочен ТТ фазы *A*

Метод проверки правильности сборки заключается в следующем.

1. Первичные обмотки ТТ в зависимости от схемы соединений вторичных обмоток соединяют временными перемычками, как указано в табл. III.1; полностью собирают схемы соединений всех вторичных обмоток, включая установку заземлений во вторичных цепях.

2. От нагрузочного устройства в первичные обмотки подают ток. Измеряют величину тока во всех вторичных цепях. Амперметр для измерения вторичных токов включают на входе панели защиты или измерительных приборов (может быть применен также прибор типа ВАФ-85).

3. По результатам измерений вторичных токов судят о правильности соединений вторичных обмоток. Обнаруженные ошибки устраняют, измерения повторяют.

Величина первичного тока определяется мощностью нагрузочного устройства и коэффициентом трансформации испытываемых ТТ. Величина вторичного тока должна быть не меньше 0,5—1,5 *а* для удобства отсчета по амперметру со шкалой 2,5—5 *а*. В зависимости от местных условий для измерения вторичных токов используют или один амперметр, поочередно включаемый во все провода, или

несколько амперметров, включаемых одновременно во все нужные провода. Класс точности амперметров может быть 2,5—4.

Все соединения на первичной стороне ТТ следует выполнять короткими проводами большого сечения. Нагрузочное устройство нужно размещать возможно ближе к трансформаторам; при проверке встроенных ТТ устройство рекомендуется устанавливать на баках выключателей.

Особенность приведенных в табл. III. 1 испытательных схем состоит в том, что при правильном соединении ТТ во всех вторичных цепях, к которым подключены реле или измерительные приборы, при испытании ток не равен нулю; этим одновременно проверяют отсутствие обрывов цепей.

Если по местным условиям необходимо изменить рекомендуемые схемы проверки, новые схемы следует составлять так, чтобы во всех вторичных цепях ток не был равен иулю.

4. Проверка схем соединения вторичных цепей ТТ импульсным методом

Проверка таких соединений осуществляется по схемам, приведенным на рис. III.7 и III.8. Методика проверки заключается в следующем.

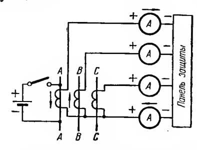


Рис. III.7. Схема проверки выполиеиия схем соедииеиия вторичиых цепей ТТ импульсиым методом.

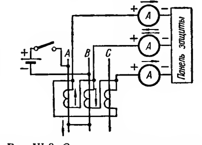


Рис. III.8. Схема пользоваиия импульсным методом при соединеиии вторичиых обмоток ТТ в треугольник.

При полностью собранной схеме вторичных обмоток и их цепей в первичную обмотку ТТ кратковременно (импульсом) подают постоянный ток; по характеру отклонения стрелок магнитоэлектрических приборов, включенных во вторичные цепи, устанавливают правильность собранной схемы.

На схемах рис. III.7 и III.8 показаны направления мгновенных значений первичного и вторичного токов при кратковременном замыкании первичной цепи

Правильность сборки схемы и маркировки вторичных цепей определяют по знаку и относительной величине отклонений стрелки прибора. Например, в схеме на рис. III.8 показания прибора в фазе B' больше по величине и обратны по знаку по сравнению с показаниями прибора в других фазах; необходимо учесть, что знаки отклонений приборов различны при замыкании и размыкании первичной цепи.

Источник постоянного тока и прерыватель удобнее всего размещать в том же месте, где находятся приборы. Необходимо строго следить за правильностью подключения прибора и источника постоянного тока по их полярности. Полярности, принятые при измерении в проводе вторичной цепи первой фазы, необходимо точно соблюдать при измерениях в других проводах и фазах.

Измерения повторяют для всех фаз первичной цепи; при измерениях на каждой фазе первичной цепи прибор поочередно включают во все провода вторичных цепей, при этом отмечают все его показания.

Перед проверкой рекомендуется вычертить принципиальную схему проверяемых цепей, задаться полярностью и схемой включения постоянного тока, нанести на схему направление вторичных токов и определить величину и знак отклонений прибора. Действительные отклонения прибора при проверке сравнивают с определенными по схеме.

5. Проверка вторичных цепей ТН и цепей управления и автоматики

Вместо прозвонки (или в дополнение к ней) часто целесообразно проверять цепи при подаче на схему рабочего напряжения или напряжения от вспомогательного источника. При этом проверка производится либо путем измерения (контроля) напряжения в характерных точках схемы, либо опробыванием работы аппаратуры (реле, контакторов и т. п.) при замыкании соответствующих контактов («прохлопывание» схемы), либо имитацией режимов, при которых элементы схемы «срабатывают».

В трехфазных (или многофазных) установках вольтметром проверяют все фазные и междуфазные напряжения как на источнике питания (ТН, вводе и т. п.), так и на каждом приборе, аппарате, к которому эти напряжения подводят (фазные и междуфазные напряжения, измеренные во всех точках, должны быть соответственно равны друг другу).

Правильность маркировки фаз напряжения может быть проверена вольтметром или фазоуказателем. (ФУ). Если проверка осуществляется вольтметром (рис. III.9), сравнивают поочередно напря-

жения всех фаз иа зажимах проверяемой панели с заведомо нзвестными иапряжениями на зажимах другой (или той же) паиели, питающейся от того же нсточиика напряжения. При подключении вольтметра к одиоимеииым фазам показания его будут равиы иулю, к разиоименным фазам или к фазиому и нулевому проводам (на одиой н другой группе зажнмов) — соответствовать междуфазному н фазному напряжению.

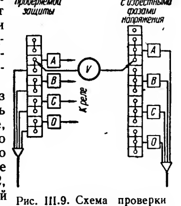


Рис. III.9. Схема проверки цепей напряжения вольтметром.

Когда правнльность маркировкн фаз проверяют фазоуказателем, должио быть известио обозначение, по крайней мере, одиой из фаз (в цепях ТН фаза *В* обычно заземлеиа, и определить ее с помощью вольтметра легко). В практике иаибольшее распростраиеиие получнл ФУ типа ФУ-2, который представляет собой маленький асинхронный двнгатель, состоящий нз трех катушек с сердечниками нз мягкого железа и вращающегося легкого металлического днска, размещенного над сердечннками (рис. III.10).

При подаче на выводы фазоуказателя *А*, *В*, *С* соответствующих фаз или фаз, сдвиииутых иа 120° (*ВСА* и *САВ*), его диск будет вращаться по часовой стрелке. Еслн подаиа система фаз с обратиым чередоваиием (*ВАС*, *АСВ* и *СВА*), диск будет вращаться против часовой стрелкн. Когда известио, что одиа из фаз (иапример, *В*) подсоедииена к ФУ правильио, прн вращеиии его по часовой стрелке фазы *А* и *С* также подключеиы верио, а прн обратиом вращеиии фазы *А* и *С* следует поменять местами.

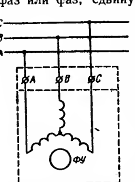


Рис. III.10. Схема включения фазоуказателя типа ФУ-2.

Таким образом, определив порядок чередования фаз сначала иа выводах нсточиика питання, а затем иа зажимах поверяемого аппарата, можио судить о правильиостн маркировкн фаз.

В том случае, когда иа зажимы аппаратов предусмотрена подача напряжеиия периодически от одиого и другого трехфазиого источника питаиия (переключенне пронзводят перекндиым рубильииком илн переключателем), важно, чтобы в обоих случаях иа каждый зажим подавалось напряжение одной н той же фазы.

Необходимая проверка (фазировка) может быть выполнена с помощью вольтметра по схеме, приведенной на рис. III.11, при условии, что источники питаиия имеют связь в одной точке (заземлены нулевые точки, связаны одноименные фазы и т. п.). Один зажим вольтметра присоединяют к фазе источника питания I, а второй поочередио к каждой из фаз источника II. Между одиоименными фазами напряжение должно быть примерно равно нулю, между разноименными — междуфазному напряжению.

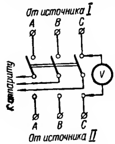


Рис. III.11. Схема фазировки цепей напряжения и оперативного трехфазного тока.

6. Снятие и построение векторных диаграмм

Синусоидальные токи и напряжения могут быть представлены в виде векторов, определенным образом ориентированных на плоскости. На рис. III.12 представлена наиболее часто встречающаяся векторная диаграмма фазных и линейных напряжений и фазных токов трехфазной линии с активно-индуктивиой иагрузкой.

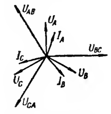


Рис. III.12. Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений и фазных токов.

Векториая диаграмма вторичных токов и напряжений отражает вид соединений элементов первичной и вторичиой коммутаций, характер распределения во времени токов и напряжений (отставание, опережение, совпадение) и др.

По векторной диаграмме вторичных напряжений и токов можно окончательно судить о правильности выполнения цепей вторичиой коммутации с учетом включения измерительных и промежуточных трансформаторов и других элементов схемы. Для построения векторной диаграммы в первую очередь иеобходимо знать углы между векторами токов и напряжений. Эти углы, как известно (см. гл. II), могут быть определены с помощью одного из следующих приборов: одиофазного фазометра, вольтамперфазоиидикатора типа ВАФ-85, одиофазиого ваттметра.

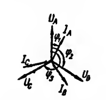


Рис. III.13 Векторная диаграмма, построенная с помощью фазометра.

Снятие и построение векториых диаграмм дает возможиость проверить правильиость выполнения следующих схем: а) дифференциальных токовых защит (по взаимному расположению векторов тока в цепях циркуляции); б) включеиия щитовых ваттметров, счетчиков электроэнергии, фазометров, реле направлеиия

мощности, реле сопротивления и др. (по взаимному расположению векторов напряжения и тока, подведенных к прибору или реле); в) токовой стабилизации автоматических регуляторов возбуждения.

При снятии векторных диаграмм, как правило, в качестве «опорных» векторов используется симметричная трехфазная система векторов напряжения (фазного или междуфазного) и по отношению к ним определяются углы векторов тока.

Таким образом, на первом этапе снятия векторной диаграммы необходима проверка напряжений, а именно: измерение величин фазных и междуфазных напряжений, определение зажимов, к которым подведены напряжения первой (A), второй (B) и третьей (C) фаз, определение порядка чередования фаз.

Затем векторы напряжения (например, фазного) в произвольном масштабе наносят на миллиметровую бумагу под углом 120° друг к другу (рис. III.13). После этого щитовым амперметром проверяют наличие в первичной цепи присоединения токов, соответствующих не менее 20—30% нормальной нагрузки и приступают к определению фазы их одним из приведенных ниже методов.

Измерение однофазным фазометром

Напряжение фазы A подают на обмотку напряжения фазометра так, чтобы фазный провод был присоединен к начальному зажиму прибора, обозначенному звездочкой, а нулевой провод — к конечному.

Токовую обмотку фазометра включают последовательно с токовой обмоткой прибора или реле, схему включения которого проверяют так, чтобы провод, подключенный до проверки к «началу» токовой обмотки фазы A прибора или реле, был бы присоединен к «началу» токовой обмотки фазометра.

Для определения симметрии токов по фазам последовательно с токовой обмоткой фазометра включают амперметр. На диаграмме откладывают вектор тока, величина которого пропорциональна показаниям амперметра. Этот вектор должен отставать от вектора напряжения на угол, измеренный фазометром (рис. III.13).

После этого токовую обмотку фазометра и амперметра переключают последовательно в фазы B и C и строят векторы токов второй и третьей токовых обмоток поверяемого прибора (или реле); отсчет углов во всех случаях производят от вектора напряжения фазы A.

Анализируя векторную диаграмму, можно определить правильность включения прибора или необходимые изменения в схеме.

При пользовании междуфазным напряжением к фазометру подводят напряжение AB (фаза A подключена к началу обмотки), на диаграмме дополнительно строят вектор этого напряжения, от которого ведется отсчет углов.

Измерение прибором ВАФ-85

Порядок снятня диаграммы тот же, что н прн пользоваиии фазометром, хотя и нмеются некоторые особенности: а) сначала определяют положение (по лимбу прнбора ВАФ-85) вектора напряжения, принятого за начало отсчета (обычно фазы A), а затем относительно него — положение векторов тока; б) диаграмму сиимают без включеиия в токовые цепи поверяемого прибора или реле, применяя токоизмерительные клещи прибора типа ВАФ-85.

Измерение однофазным ваттметром

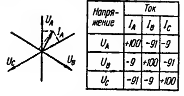
Токовую обмотку ваттметра включают последовательио и согласно в цепь первой фазы поверяемого прибора нли реле.

К ваттметру поочередио подводят все три фазовых напряжеиия: U_A, U_B и U_C, при этом к иачалу обмотки напряжения ваттметра подсоедиияют фазовые провода, а к концу — нулевой провод.

Показання ваттметра пропорциональиы подводимым к нему напряжению н току, а также косинусу угла между иими:

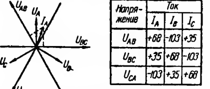
$$\left.\begin{aligned} W_1 &= U_A I \cos(\widehat{U_A I}) \\ W_2 &= U_B I \cos(\widehat{U_B I}) \\ W_3 &= U_C I \cos(\widehat{U_C I}) \end{aligned}\right\}, \qquad \text{(III.1)}$$

где I — ток, протекающий по токовой обмотке ваттметра; $(\widehat{U_A I})$, $(\widehat{U_B I})$, $(\widehat{U_C I})$ — углы между векторами напряжения U_A, U_B и U_C и вектором тока I; если угол между вектором тока н напряжеиия



Напряжение	Ток		
	I_A	I_B	I_C
U_A	+100	-91	-9
U_B	-9	+100	-91
U_C	-91	-9	+100

Рнс. III.14.
Векторная диаграмма, построенная с помощью однофазного ваттметра.



Напряжение	Ток		
	I_A	I_B	I_C
U_{AB}	+68	-103	+35
U_{BC}	+35	+68	-103
U_{CA}	-103	+35	+68

Рис. III.15. Векторная днаграмма, построенная с помощью однофазного ваттметра. В качестве «опорных» использованы междуфазные напряження.

лежит в пределах 90 — 270°, косинус угла и показания ваттметра будут иметь отрицательиые зиачения.

Произведения $I\cos(\widehat{U_A I})$, $I\cos(\widehat{U_B I})$ и $I\cos(\widehat{U_C I})$ представляют собой проекции вектора тока I соответственно на векторы иапряжения U_A, U_B и U_C, и, следовательно, показання ваттметров пропорциоиальны велнчнне этих проекций.

Если на линиях векторов напряжений U_A, U_B и U_C отложить в выбранном масштабе измеренные мощности W_1, W_2 и W_3 с учетом их знаков и восстановить из концов этих отрезков перпендикуляры, то все они пересекутся в точке, в которой находится конец вектора тока I. Таким образом, по показаниям ваттметра можно определить положение вектора тока на плоскости. Для удобства показания ваттметров записывают в таблицу (рис. III.14).

Аналогично определяют положение на плоскости векторов токов двух других фаз после соответствующего поочередного переключения токовой обмотки ваттметра в эти фазы.

В некоторых случаях при снятии векторной диаграммы приходится пользоваться междуфазными напряжениями U_{AB}, U_{BC} и U_{CA} (рис. III.15).

7. Проверка схем соединения вторичных обмоток ТТ первичным током нагрузки

Перед этой проверкой все цепи ТТ должны быть полностью собраны. Если первичная нагрузка симметрична, измеряют вторичные токи на входе панели во всех трех фазах и в нуле. По результатам измерений определяют правильность схемы и исправность трансформаторов (табл. III.2).

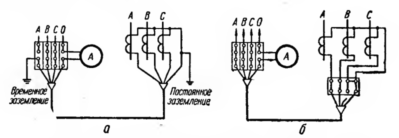


Рис. III.16. Схемы проверки целости нулевого провода вторичных цепей ТТ.

Разновидностью проверки является определение тока нулевого провода в схеме полной звезды. Теоретически при симметричной трехфазной нагрузке ток в нулевом проводе должен быть равен нулю. Практически за счет несимметрии первичных токов, несимметрии вторичной нагрузки и неидентичности характеристик ТТ ток в нулевом проводе обычно не равен нулю. Наличие тока небаланса в нулевом проводе является основным признаком его исправности (отсутствие обрыва).

Таблица III.2

Проверка правильности сборки токовых цепей током нагрузки

Схемы проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_0 = 0$		Правильно собрана схема звезды
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_0 = 2\frac{I_1}{K_{TT}}$		Изменена полярность одного ТТ (фазы A)
	$I_{A'} = 0$; $I_{B'} = I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Оборвана фаза A
	$I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{A'} = I_0 \simeq \frac{1}{2} \cdot \frac{I_1}{K_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы A
	$I_{A'} = I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Правильно собрана схема неполной звезды
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$; $I_0 = \sqrt{3}\,\frac{I_1}{K_{TT}}$		Изменена полярность одного ТТ (фазы A)
	$I_{A'} = 0$; $I_{C'} = I_0 = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Оборвана фаза A
	$I_{A'} = I_0 = \frac{I_1}{2K_{TT}}$; $I_{C'} = \frac{I_1}{K_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы A
	$I_{A'} = I_{C'} = I_0 = 0$	—	Оборван нулевой провод

Продолжение табл. III.2

Схемы проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'B'} = I_{B'C'} = I_{C'A'} = \sqrt{3}\,\dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Правильно собрана схема треугольника
	$I_{B'C'} = \sqrt{3}\,\dfrac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{A'B'} = I_{C'A'} = \dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Изменена полярность ТТ фазы *А*
	$I_{A'B'} = I_{C'A'} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}\cdot\dfrac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{B'C'} = \sqrt{3}\,\dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы *А*
	$I_{A'B'} = I_{C'A'} = \dfrac{I_1}{K_{TT}}$; $I_{B'C'} = \sqrt{3}\,\dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Оборвана фаза *А*
	$I_{A'C'} = \sqrt{3}\,\dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Правильно собрана схема на разность токов
	$I_{A'C'} = \dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Изменена полярность трансформатора тока (фазы *А*)
	$I_{A'C'} \simeq 0$	—	Закорочен трансформатор тока
	$I_{A'C'} = \dfrac{I_1}{K_{TT}}$		Оборвана цепь трансформатора тока (фаза *А*)
	$I_{A'C'} = 0$	—	Оборвана цепь реле

В случае протекаиия незначнтельиых токов иебалаиса в нулевом проводе в схеме отключают однн нз ТТ. Тогда в нулевом проводе будет геометрнческая сумма токов, оставшнхся в работе двух фаз, равная фазному току.

Еслн заземлеиие вторичных обмоток устаиовлеио не на паиели защнты, а, например, в прнводе выключателя или иа сборке открытой частн подстаиции, для создаиня в иулевом проводе суммы токов двух фаз достаточио на входе панели защиты времеиио заземлить одну фазу н отключить ее от панели (рис. III.16, *а*). Когда заземленне установлено на паиелн, для исключения фазы необходимо закоротить одии из ТТ иа блнжайшей к ним сборке н отключить соответствующий фазиый провод (рис. III.16, *б*).

8. Определение места повреждения контрольного кабеля

У длнниых коитрольных кабелей поврежденный участок целесообразно ремоитировать, а не замеиять весь кабель. Методы определення места повреждеиия в кабельных сетях высокого напряжения (см. гл. XV) в этом случае не всегда можио использовать.

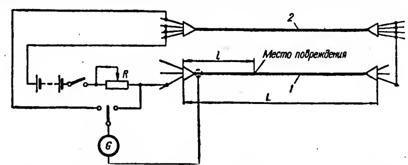


Рис. III.17. Схема определения места повреждения контрольного кабеля.

В связн с этим место повреждения кабеля рекомендуется определять упрощеииым методом. Нnже приведен порядок проведения испытанни.

1. В повреждеиион кабеле *1* выбирают жилу с наихудшей изолящней и собирают схему, согласно показаииой иа рис. III.17. Обратиым проводом служит любой исправиый кабель *2*, проложеиный в том же месте, что и повреждеиный. В нем выделяют одну контрольную жилу, подводимую к гальваиометру *G*, а все остальные жнлы включают параллельио для уменьшеиия сопротивлеиия. Другой коиец контрольной жилы присоедиияют к поврежденному кабелю.

2. До замыкания рубильника гальванометром проверяют наличие напряжения на поврежденной и контрольной жилах. Часто в кабелях имеются посторонние, наведенные, э. д. с.; для компенсации их стрелку включенного гальванометра устанавливают на нуль. Если установить стрелку на нуль не удается, то при последующих измерениях отсчет по гальванометру ведут не от нуля, а от того деления шкалы, на котором останавливалась стрелка при измерении постороннего напряжения на жилах.

3. Включают рубильник; для получения максимального отклонения стрелки гальванометра реостатом R подбирают ток от батареи питания и вновь измеряют напряжение на поврежденной и контрольной жилах относительно земли (свинцовой оболочки испытуемого кабеля).

4. Определяют место повреждения кабеля по уравнению

$$l = \frac{U_п}{U_п + U_к} L, \tag{III.2}$$

где L — полная длина поврежденного кабеля; l — расстояние от места измерения до места повреждения по длине кабеля; $U_к$ и $U_п$ — показания гальванометра соответственно на контрольной и поврежденной жилах.

Точность метода ± 2 *м* при полной длине кабеля 100—200 *м*. Гальванометр желательно иметь с чувствительностью примерно 0,5 *ма* на 1°. При сопротивлении изоляции поврежденного кабеля 0,5 *Мом* и меньше достаточно аккумуляторной батареи на 6—12 *в*. Менее чувствительные гальванометры и более высокое сопротивление изоляции кабелей требуют повышенного напряжения батареи.

9. Проверка и испытание изоляции, измерение ее сопротивления

Проверка и испытание изоляции между токоведущими частями и по отношению к земле — наиболее часто проводимое испытание (особенно измерение сопротивления изоляции мегомметром) и одна из самых эффективных мер по выявлению дефектов электротехнических установок.

К проверке и испытанию изоляции относят следующие работы: 1) измерение сопротивления изоляции (для всех без исключения элементов электроустановок); 2) определение увлажненности изоляции (в основном для электрических машин и трансформаторов); 3) измерение тангенса угла диэлектрических потерь (для силовых трансформаторов и высоковольтной подстанционной аппаратуры); 4) испытание изоляции повышенным напряжением (для большинства элементов электроустановок).

Нормы проверок и испытаний, определяемые ГОСТами, ПУЭ и другими директивными материалами, приведены в последующих главах.

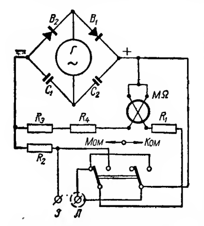


Рис. III.18. Принципиальная схема мегомметра типа М-1101.

Сопротивление изоляции практически во всех случаях измеряется мегомметром. Мегомметр — это прибор, состоящий из источника напряжения—генератора постоянного тока чаще всего с ручным приводом, магнитоэлектрического логометра и необходимых добавочных сопротивлений. Наиболее распространены мегомметры типа М-1101 (рис. III.18) и МС-05.

Наличие в мегомметрах источника постоянного тока дает возможность измерять сопротивление изоляции при значительном напряжении (до 2500 *в* в мегомметре типа МС-05), а для некоторых электроаппаратов позволяет одновременно испытывать изоляцию повышенным напряжением. Однако следует иметь в виду, что при подключении мегомметра к аппарату с пониженным сопротивлением изоляции

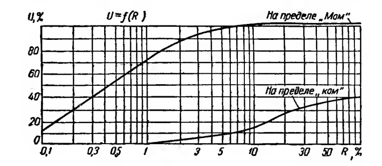


Рис. III.19. Нагрузочные характеристики мегомметра типа М-1101.

напряжение на выводах мегомметра также понижается. На рис. III.19 и III.20 приведены нагрузочные характеристики мегомметров типа М-1101 и МС-05. Напряжение на их выводах дано в про-

центах от напряжения холостого хода, а сопротивление R для мегомметра типа М-1101 — в процентах от максимального измеряемого сопротивления по шкале.

Таблица III.3

Технические данные мегомметра типа М-1101

Номинальное напряжение мегомметра, *в*	Максимальное значение измеряемого сопротивления, *Мом*	Пределы измерения рабочей части шкалы	
		ком	*Мом*
100	100	0—200	0,01—20
500	500	0—1000	0,05—100
1000	1000	0—1000	0,2—200

Мегомметр типа М-1101 выпускается трех модификаций (табл. III.3). Основная погрешность в рабочей части шкалы составляет ±1% ее длины. Прибор предназначен для эксплуатации при температуре окружающей среды от −30 до +40° С.

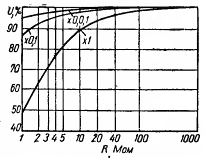


Рис. III.20. Нагрузочные характеристики мегомметра типа МС-05.

Мегомметр типа МС-05. Пределы измерения мегомметра: от 0—10 000 *Мом* до ∞ с рабочей частью шкалы 1—1000 *Мом*; от 0—1000 *Мом* до ∞ с рабочей частью шкалы 0,1—100 *Мом*; от 0—100 *Мом* до ∞ с рабочей частью шкалы 0,01—10 *Мом*.

По напряжению на выходе мегомметры выпускают в двух исполнениях: I исполнение — 2500 *в*, II исполнение — 2500, 1000 и 500 *в* (табл. III.4).

Таблица III.4

Изменение пределов измерения и напряжения на выходе мегомметра типа МС-05 II исполнения

Положение переключателя	Номинальное напряжение на зажимах при разомкнутой внешней цепи, *в*	Пределы измерения сопротивления, *Мом*
2,5 *кв* × 1	2500	От 0—10000 до ∞
2,5 *кв* × 0,1	2500	От 0—1000 до ∞
2,5 *кв* × 0,01	2500	От 0—100 до ∞
1 *кв* × 0,1	1000	От 0—1000 до ∞
0,5 *кв* × 0,1	500	От 0—1000 до ∞

Нормальная скорость вращения рукоятки мегомметра 120 *об/мин*. Напряжение на зажимах мегомметра при разомкнутой внешней цепи при любой скорости вращения рукоятки, превышающей 120 *об/мин*, отличается от номинального не больше чем на ±20%. Основная погрешность мегомметра в рабочей части шкалы не превышает ±1,5% длины шкалы по дуге. Прибор предназначен для эксплуатации при температуре окружающей среды от —25 до +60°С.

Сопротивления следует измерять при устойчивом положении стрелки прибора; для этого нужно быстро, но равномерно вращать ручку генератора.

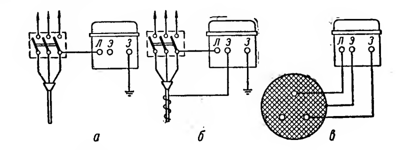


Рис. III.21. Схема включения мегомметра типа МС-05.

Для присоединения мегомметра к испытуемому аппарату или линии следует применять раздельные провода с большим сопротивлением изоляции (обычно не меньше 100 *Мом*).

Перед пользованием мегомметр, как правило, следует подвергнуть контрольной проверке, которая заключается в том, что проверяют показания по шкале при разомкнутых и накоротко замкнутых проводах. В первом случае стрелка должна находиться у отметки шкалы «бесконечность», во втором — у нуля.

Обычно при измерении сопротивления изоляции используются только выводы *Л* (линия) и *З* (земля) мегомметра (рис. III.21). Вывод *Э* (экран), имеющийся в мегомметрах типа МС-05 и некоторых других, предназначен для исключения значительных погрешностей за счет поверхностных токов утечки, а также для измерения сопротивления изоляции между цепями, изолированными от земли (жилами кабеля, обмотками машин и т. п.).

Схема включения мегомметра без экрана приведена на рис. III.21, *а*. На рис. III.21, *б* вывод экрана *Э* подключен к токоотводящему электроду, размещенному на изолированной оболочке кабеля возле

вороики, а иа рис. III.21, *в* — к заземленной оболочке кабеля. Получили распростраиеиие также катодиые мегомметры типа МОМ и МС-2, очень удобиые при определении коэффициеита абсорбции.

В некоторых устаиовках постоянного тока (аккумуляторных батареях, генераторах постояиного тока и т. п.) контроль изоляции может быть осуществлен с помощью вольтметра с большим виутрениим сопротивлением (30 000—50 000 *ом*). При этом измеряют три напряжения — между полюсами (U) и между каждым из полюсов и землей (U_1 и U_2).

Сопротивление изоляции устаиовки можио определить из выражения

$$R_{из} = \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1\right) R_в 10^{-6} \ [Мом], \qquad \text{(III.3)}$$

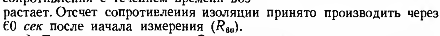
где $R_в$ — виутрениее сопротивлеиие вольтметра, *ом*.

На электростанциях и подстаициях широко распространеи контроль изоляции сети постояииого тока согласно схеме, приведенной иа рис. III.22. По этой схеме измеряют сопротивлеиие изоляции $R_{из}$ каждой шины установки постояиного тока.

При сравнеиии результатов измереиия сопротивления изоляции следует иметь в виду, что иа величину сопротивления оказывают влияние следующие факторы.

Рис. III.22. Схема непрерывного контроля изоляции сети постояиного тока.

1. Длительность измереиия. У неувлажнеииой изоляции, выполиеииой из органических материалов, величииа сопротивления с течением времеии возрастает. Отсчет сопротивлеиия изоляции принято производить через 60 *сек* после иачала измерения (R_{60}).



2. Температура изоляции. С повышением температуры сопротивлеиие изоляции умеиьшается. При измереиии сопротивления изоляции одновремеиио нужно измерять и ее температуру. Обычно температура при измерениях не должна быть иижe 5° С.

3. Увлажиеииость изоляции.

4. Загрязиеииость изоляции. Перед измерением следует убедиться, что изоляция очищена от грязи, строительного мусора и протерта сухой чистой тряпкой (или тряпкой, смоченной в спирте).

10. Определение увлажненности и диэлектрических потерь изоляции

Увлажненность изоляции

Как правило, увлажненность изоляции определяют для решения вопроса о необходимости сушки гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов. В редких случаях определяют увлажненность изоляции электрических аппаратов, приборов, релейно-контакторной аппаратуры и т. п.

В испытательной практике используют следующие методы определения увлажненности изоляции (приводятся в порядке, соответствующем распространенности метода): а) метод абсорбции; б) метод емкость — частота; в) метод емкость — температура; г) метод коэффициента нелинейности.

Метод абсорбции основан на сравнении показаний мегомметра, снятых через разные промежутки времени после приложения напряжения. Согласно действующим правилам, коэффициент абсорбции

$$K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}, \qquad (III.4)$$

где R_{60} и R_{15} — сопротивление изоляции, измеренное соответственно через 60 и 15 *сек* после приложения напряжения мегомметра.

Для неувлажненной обмотки при температуре 10—30° С $K_{аб} = 1{,}3 - 2{,}0$, для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Коэффициент абсорбции желательно определять с помощью мегомметра с моторным приводом.

Метод емкость — частота применяется главным образом при испытании силовых трансформаторов. Он основан на том, что емкость неувлажненной изоляции при изменении частоты изменяется меньше (или совсем не изменяется), чем емкость увлажненной. Емкость изоляции принято измерять при двух частотах: 2 и 50 *гц*. Температура при измерениях не должна быть ниже 10° С. Отношение емкости, измеренной при частоте 2 *гц* C_2, к емкости при 50 *гц* C_{50} для увлажненной изоляции близко к двум, а для неувлажненной — к единице.

Измерения по этому методу осуществляют прибором типа ПКВ-13 (прибор контроля влажности), описание которого приведено в гл. IV.

Метод емкость — температура. О степени увлажненности изоляции можно судить по изменению ее емкости, измеряемой при различных температурах.

За верхний предел температуры принимают 70° С и выше, за

нижний — на 50° С меньше. Критерий неувлажненности выражается как

$$\frac{C_г}{C_х} \leqslant 1,15, \qquad (III.5)$$

где $C_г$ и $C_х$ — емкость соответственно при 70 и 20° С.

По данным Московского трансформаторного завода, изоляцию можно считать неувлажненной, если

$$\frac{C_{80} - C_{20}}{C_{20}} \leqslant 0,2. \qquad (III.6)$$

Емкость обмоток можно измерить либо с помощью моста типа МД-16 одновременно с измерением tg δ, либо методом вольтметра—амперметра.

У трансформаторов температуру обмоток измеряют термометром, установленным в верхних слоях масла, или по сопротивлению меди обмотки.

Метод коэффициента нелинейности. Критерием увлажненности изоляции может быть отношение сопротивлений изоляции, измеренных при напряжении, равном 0,5 и 2 номинального ($R_{0,5U_{ном}}$ и $R_{2U_{ном}}$). В обоих случаях величина сопротивления изоляции вычисляется как отношение выпрямленного напряжения, приложенного к изоляции, к одноминутному значению тока утечки при данном напряжении:

$$\left. \begin{aligned} R_{0,5U_{ном}} &= \frac{0,5U_{ном}}{I_{1мин}} \\ R_{2U_{ном}} &= \frac{2U_{ном}}{I_{1мин}} \end{aligned} \right\} . \qquad (III.7)$$

Для практически неувлажненной изоляции коэффициент нелинейности

$$K_{нл} = \frac{R_{0,5U_{ном}}}{R_{2U_{ном}}} < 2,3. \qquad (III.8)$$

При измерении по этому методу во многих случаях можно пользоваться кенотронным аппаратом.

Диэлектрические потери

Диэлектрические потери или пропорциональный им тангенс угла диэлектрических потерь tg δ — одна из характеристик состояния электрической изоляции.

По велнчине потерь можио судить о иадежиости изоляции по отиошению к тепловому пробою (тепловой устойчивости), общем старении н увлажиенностн нзоляции.

Для токов н мощности потерь в диэлектрике действительны такие соотношения (рис. III.23).

Рис. III.23. Векторная диаграмма токов и напряжений в диэлектрике.

Отношеиие активиой составляющей тока I_a к емкостной I_C:

$$\frac{I_a}{I_C} = \operatorname{tg}\delta. \qquad (III.9)$$

Емкостный ток

$$I_C = \omega C U, \qquad (III.10)$$

где ω — круговая частота; C — емкость диэлектрика, *ф*; U — приложениое к диэлектрику напряженне, *в*.

Потери в днэлектрике

$$P = UI_a = UI\cos\varphi = UI_C \operatorname{tg}\delta, \qquad (III.11)$$

нли, согласно формуле III.10:

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg}\delta. \qquad (III.12)$$

Таким образом, потери мощности P и тангенс угла диэлектрических потерь пропорциоиальны друг другу. Основиой метод нзмереиия $\operatorname{tg}\delta$ — мостовой.

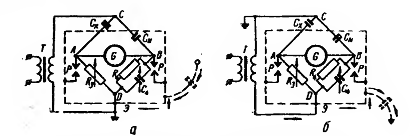


Рис. III.24. Приицsmåипиальиые схемы моста типа МД-16:
а — нормальная; *б* — перевернутая. *T* — испытательный трансформатор; C_x — испытуемый объект; C_N — образцовый конденсатор; *G* — вибрационный гальванометр; R_3 — переменное сопротивление; R_4 — постоянное сопротивление. C_4 — магазин емкостей.

Прн иаладке шнроко применяют мост тнпа МД-16 (см. гл. IV). Этим мостом можно нзмерить днэлектрическне потери по нормальной схеме (рнс. III. 24,*а*), применяемой для объектов, у которых оба

электрода изолированы от земли (при измерении tg δ между обмотками трансформаторов или между фланцем и электродом высоковольтных вводов в ремонтной мастерской, когда фланец изолятора может быть установлен на изолирующую подставку). Для измерения диэлектрических потерь объектов, имеющих один наглухо заземленный электрод, применяют «перевернутую» схему моста (рис. III.24, б).

Основные соотношения при равновесии моста типа МД-16:

$$C_x = C_N \frac{R_N}{R_3} = C_N \frac{3184}{R_3} \ [мкф]; \qquad (III.13)$$

$$\operatorname{tg} \delta = 100 C_4 \ [\%], \qquad (III.14)$$

где C_N — эталонная емкость, *мкф*; $R_N = 3184$ *ом*; R_3 — сопротивление регулируемого плеча, *ом*.

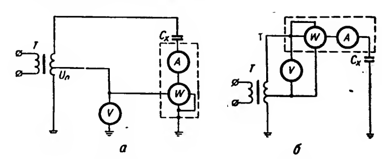


Рис. III.25. Схемы определения tg δ с помощью вольтметра, ваттметра и амперметра:
а — нормальная; *б* — перевернутая.

Значительно реже tg δ измеряют с помощью ваттметра, вольтметра и амперметра (рис. III.25).

Для углов δ меньше 20° с достаточной для практики точностью справедливо соотношение

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (90 - \varphi) \approx \cos \varphi = \frac{P}{UI}. \qquad (III.15)$$

Если угол δ больше 20°, что встречается редко, tg δ может быть определен по значениям cos φ тригонометрических таблиц. При этом емкость испытуемого объекта

$$C_x = \frac{I}{\omega U} \ [мкф]. \qquad (III.16)$$

У изоляторов tg δ рекомендуется измерять при температуре 10—40° С, так как в этом интервале величина tg δ мало зависит от температуры.

При необходнмостн измереиия диэлектрических потерь в знмнее время допускается нскусствениый подогрев изоляцни свыше 5° C.

Одиако такое нзмерение может быть достаточным и не подлежнт повторению при наступлении теплой погоды лишь в том случае, если прннятый метод подогрева обеспечивает достаточно равиомерный прогрев всей изоляцнн, т. е. нн одна часть нзоляцнн не должна быть иагретой больше чем на ±2,5° G по сравиению со средней температурой.

При нзмереннн $\operatorname{tg}\delta$ возможно протеканне через измерительный элемеит моста тнпа МД-16 токов влияиия, которые нндуктнруются внешиимн магннтными полями лнбо возникают под действнем внешнnх электростатических полей благодаря наличию емкостных связей. Действие токов влияння частично уменьшается за счет экранирования моста.

Погрешность, создаваемую токамн влияния, учитывают прн двукратиом измерении $\operatorname{tg}\delta$ н C_x. Второй раз измерение проводят прн нзмеиенин на 180° фазы испытательного иапряжеиия (прн первом измереиии ток влияння геометрически складывается с током измерительной установки, при втором — вычитается из него).

Зиачення $\operatorname{tg}\delta$ н C_x рассчитывают по формулам

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\operatorname{tg}\delta' C'_x + \operatorname{tg}\delta'' C''_x}{C'_x + C''_x}; \qquad (III.17)$$

$$C_x = \frac{C'_x + C''_x}{2}, \qquad (III.18)$$

где C'_x и $\operatorname{tg}\delta'$ — результаты первого измерения; C''_x н $\operatorname{tg}\delta''$ — результаты второго измерения.

Еслн C'_x н C''_x отличаются друг от друга не больше чем иа 6%, упрощеино

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\operatorname{tg}\delta' + \operatorname{tg}\delta''}{2}. \qquad (III.19)$$

В случае невозможиости отсоедииения обмоткн траисформатора от ввода при определеинн $\operatorname{tg}\delta$ последнего может быть прнменеи метод накладного электрода (нскусственного флаица). Электроды накладывают между ребрамн фарфоровой покрышки на первый н второй ннтервалы от фланца для ввода 35 *кв* н иа второй и третий интервалы для вводов 110 *кв*. Ширниа электрода определяется максимально допустимым расстояиием между юбками ввода.

В качестве электродов могут быть нспользоваиы: станиолевая фольга (разглаженная н накладываемая с подмазкой трансформаторным маслом), графнтированиая холстнна нли мелкая медная сетка.

При измерении tg δ мост типа МД-16 следует включать по нормальной схеме. Не допускается измерять tg δ с накладным электродом при сырой погоде и загрязненной поверхности ввода.

11. Испытание изоляции повышенным напряжением

Такое испытание позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии местных и общих дефектов, в правильности использования изоляционных материалов и др.

Результаты многолетнего опыта проведения испытаний повышенным напряжением показывают, что для исправной изоляции оно не представляет опасности, т. е. не ухудшает и, тем более, не повреждает ее.

Для большинства видов изоляции время приложения испытательного напряжения принято равным 1 *мин*. Это оптимальное время, достаточное для завершения начавшегося пробоя и проведения наблюдений за результатами испытания, но недостаточное для наступления теплового пробоя и других повреждений исправной изоляции. Исключение составляют гигроскопические изоляционные материалы органического происхождения (бакелит, дерево и т. п.), в которых роль основной изоляции играет поверхностный слой. Для этих материалов время испытания принято 5 *мин*.

Оборудование, имеющее высший класс изоляции, но работающее в установках более низкого напряжения, должно испытываться по нормам, принятым для своего класса изоляции; это помогает обнаружить дефекты изоляции в ранних стадиях их развития.

Подъем напряжения рекомендуется начинать с величины, не превышающей 25—30% испытательного напряжения. Вести подъем напряжения следует плавно, со скоростью 1—2% испытательного напряжения в секунду. После выдержки положенное время испытательное напряжение плавно снижается до 30%, затем испытательная установка может быть отключена толчком. Во время испытания оборудование должно находиться под непрерывным наблюдением; иногда для более полного обследования изоляции испытания проводят в темноте.

Изоляция считается выдержавшей испытание повышенным напряжением в том случае, если не было пробоя, частичных разрядов, выделений газа или дыма, не происходило резкого снижения напряжения и возрастания тока через изоляцию, не обнаружено местного нагрева изоляции.

Чтобы избежать повреждения повышенным напряжением, изоляцию, заведомо подлежащую ремонту, перед испытанием следует тщательно осмотреть и проверить другими методами. Если

изоляция неисправна, испытание повышенным напряжением не допускается.

В настоящее время в заводской и наладочной практике распространение получили два метода испытаний изоляции: повышенным напряжением переменного тока и выпрямленным повышенным напряжением.

Испытание изоляции повышенным напряжением переменного тока

В большинстве случаев для испытаний используется повышенное напряжение промышленной частоты (50 *гц*). Если при такой частоте испытание проводить невозможно (когда применен метод индуктированного напряжения), допускается испытание напряжением повышенной частоты. Время испытания для частот, превышающих 100 *гц*,

$$t = 60\frac{100}{f}\ [сек], \qquad (III.20)$$

однако оно не должно быть меньше 20 *сек*.

При испытании высоковольтной изоляции испытательное напряжение необходимо подавать на тот электрод, который и в эксплуатации находится под напряжением, не допуская приближения посторонних предметов, искажающих электрическое поле, на расстояние меньше 150% расстояния по воздуху между электродом и корпусом (землей).

Для испытаний применяют специальные испытательные трансформаторы (см. гл. IV). Мощность трансформатора

$$P = \omega C_x U U_{ном.\,в} 10^{-9}\ [ква], \qquad (III.21)$$

где C_x — емкость изоляции объекта, *пф*; U — испытательное напряжение, *кв*; $U_{ном.\,в}$ — номинальное напряжение вторичной (высоковольтной) обмотки испытательного трансформатора, *кв*; ω — круговая частота испытательного напряжения.

При отсутствии специальных испытательных трансформаторов можно использовать трансформаторы различного назначения (силовые, напряжения, маслопробойные и др.).

Силовые трансформаторы при таком использовании их допускают нагрузку по току до 250% номинальной при трехкратном (пофазном) испытании с двухминутным перерывом между приложениями напряжения. ТН, применяемые в качестве испытательных, могут быть кратковременно перегружены; ток намагничивания не должен превышать величины, допустимой по условиям нагрева. Для ТН типа НОМ допустимо повышение напряжения на первичной обмотке до

150—170% номинального. Схемы испытаний повышенным напряжением приведены в гл. IV, V, IX.

Испытательное напряжение измеряют чаще всего на стороне низкого напряжения (НН) (за исключением электрических машин). Коэффициент трансформации и нагрузку трансформатора определяют из выражения

$$U_{\Phi} = \frac{U_{\text{в}} K}{\left(1 - \frac{U_{\text{н}}}{100} m\right)} 10^{-3} \ [\text{кв}], \qquad (\text{III.22})$$

где U_{Φ} — фактическое испытательное напряжение на изоляции; $U_{\text{в}}$ — напряжение, измеренное вольтметром, *в*; K — коэффициент трансформации испытательного трансформатора; $U_{\text{н}}$ — напряжение короткого замыкания испытательного трансформатора, %; m — отношение фактического тока высоковольтной обмотки трансформатора к номинальному току, при испытании объектов с малой емкостью величину m можно принимать равной нулю.

Таблица III.5

Значения изоляционных расстояний (по воздуху) при испытаниях

Испытательное напряжение, *кв*	Расстояние, *см*						
	до заземленных предметов	до частей установки, находящихся под рабочим напряжением, *кв*					
		до 10	35	110	154	220	400
20	5	25	—	—	—	—	—
30	10	25	—	—	—	—	—
40	20	30	—	—	—	—	—
50	25	30	50	110	150	210	—
60	30	—	55	115	155	215	—
70	40	—	60	120	160	220	—
80	45	—	65	120	160	220	—
90	50	—	70	125	165	225	—
100	60	—	75	130	170	230	390
150	80	—	—	150	190	250	410
200	90	—	—	170	205	265	425
250	120	—	—	190	230	290	450
300	140	—	—	215	255	310	470
350	150	—	—	—	270	320	480
400	180	—	—	—	300	330	490
450	190	—	—	—	—	350	515
500	200	—	—	—	—	370	530
550	220	—	—	—	—	390	550
600	240	—	—	—	—	—	570
650	260	—	—	—	—	—	600
700	300	—	—	—	—	—	615
800	360	—	—	—	—	—	660
900	400	—	—	—	—	—	710

Таблица III.6

Ориентировочные значения емкости некоторых объектов испытания

Наименование	Емкость, *пф*
Вводы трансформаторов и масляных выключателей	50—800
Трансформаторы напряжения и тока	100—1000
Силовые трансформаторы, некоторые трансформаторы напряжения, электродвигатели мощностью до 100 *ква*	1000—10 000
Электродвигатель мощностью больше 100 *ква*	10 000—100 000

Форму кривой испытательного напряжения можно контролировать электронным осциллографом, включаемым параллельно вольтметру. В некоторых случаях вольтметр предварительно градуируют по шаровому разряднику. Порядок градуировки токов: а) между шарами разрядника устанавливают расстояние, соответствующее градуировочному напряжению (см. табл. IX.14); б) на шаровом разряднике

Таблица III.7

Ориентировочные значения емкости электрических машин

Мощность машины, *ква*	Емкость одной фазы электрических машин относительно двух других и корпуса, *мкф*, при номинальном напряжении, *кв*				
	6,3	10,5	13,8	15,75	18,00
			Турбогенераторы		
15000	0,1	0,08	—	—	—
31250	0,2	0,16	—	—	—
58500	0,4	0,25	—	—	—
111 100	—	—	—	0,39	—
166 500	—	—	—	—	0,32
			Гидрогенераторы		
15 600	0,26	—	—	—	—
30 000	—	0,28	—	—	—
44 000	—	0,35	—	—	—
50 000	—	0,64	—	0,57	—
68 750	—	—	0,97	—	—
90 000	—	—	0,83	—	—
103 500	—	—	0,94	—	—
			Синхронные компенсаторы		
1500	0,10	—	—	—	—
15 000	0,15	0,11	—	—	—
30 000	—	0,344	—	—	—
75 000	—	0,334	—	—	—

производят пять разрядов с интервалами не меньше 1 *мин* при одновременном отсчете показаний вольтметра; в) среднее арифметическое значение полученных отсчетов по вольтметру считается соответствующим разрядному напряжению шарового разрядника; напряжение на разряднике следует повышать медленно (1% в секунду) после достижения 50% пробивного.

Минимально допустимые расстояния (по воздуху) от токоведущих частей, находящихся под испытательным напряжением, до заземленных предметов и частей установки, находящихся под рабочим напряжением, приведены в табл. III.5. В табл. III.6 и III.7 приведены значения емкости некоторых объектов испытаний.

Испытание изоляции выпрямленным напряжением

Применение выпрямленного испытательного напряжения позволяет значительно уменьшить мощность испытательной установки, делает возможным испытание объектов с большой емкостью (кабелей, конденсаторов и др.), а также обеспечивает возможность ведения контроля за состоянием изоляции по измеряемым токам утечки.

В исправной и сухой изоляции ток утечки с течением времени от момента приложения напряжения спадает; в дефектной изоляции наблюдается рост тока. Диэлектрические потери при испытании выпрямленным напряжением малы, поэтому опасность повреждения исправной изоляции снижается, а величина пробивного напряжения повышается по сравнению с переменным.

Испытания по рассматриваемому нами методу проводят с помощью широко распространенных кенотронных аппаратов (см. гл. IV). Методика испытания выпрямленным напряжением описана в гл. VIII и XV.

12. Испытание изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 *в*

Согласно ПУЭ, I-8-34, у всех аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 *в* должно быть измерено сопротивление изоляции и проведено испытание ее повышенным напряжением. Допустимые минимальные величины сопротивления изоляции приведены в табл. XIV.1.

Величина испытательного напряжения промышленной частоты принята равной 1000 *в*. Эта норма действительна и при профилактических испытаниях изоляции.

До испытаний повышенным напряжением необходимо изучить схему и определить участки ее и оборудование, которые не могут быть подвергнуты испытанию повышенным напряжением.

Перед подачей испытательного напряжения желательно составить список всех элементов испытываемой схемы (зажимов, приборов, измерительных трансформаторов, панелей защиты и управле-

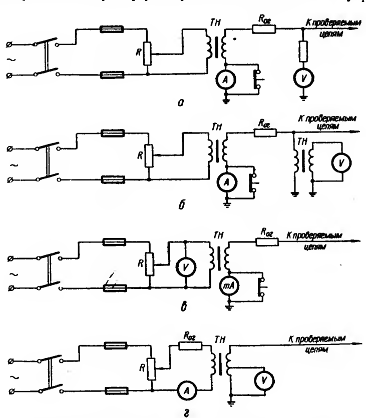


Рис. III.26. Схемы испытания изоляции вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока:

а — вольтметр включен через добавочное сопротивление; *б* — вольтметр включен через ТН; *в* — вольтметр включен со стороны НН; *г* — вольтметр включен на часть обмотки ВН испытательного трансформатора

ния), которые будут поставлены под напряжение, указав временные перемычки и изменения схемы. По этому списку после испытаний восстанавливают схему.

В оперативных цепях все предохранители и заземления должны быть сняты. Вторичные обмотки ТН, аккумуляторные батареи и прочие источники постоянного тока, а также вся аппаратура, которая

по условиям изоляции не допускает испытания повышенным напряжением, должны быть отсоединены. Временные перемычки, которые необходимо поставить по условию объединения участков схемы, подвергаемых испытанию, должны отличаться от основных проводов.

Изоляция собранной для испытания схемы вторичных цепей проверяется мегомметром на 500 или 1000 *в*. После этого схема присоединяется к испытательному устройству согласно рис. III.26. Напряжение плавно поднимают до 1000 *в* и поддерживают в течение 1 *мин*, после чего плавно снижают до нуля. После испытания схема должна быть разряжена и состояние изоляции вторично проверено мегомметром.

Если при испытании не обнаружены скользящие разряды, пробои изоляции, резкие толчки тока и напряжения, а при повторной проверке мегомметром сопротивление изоляции не уменьшилось, изоляция считается выдержавшей испытание.

Протяженные вторичные цепи испытывают повышенным напряжением раздельно, по участкам. Четкое разделение по участкам особенно важно в сложных схемах защиты и автоматики, объединяющих цепи различных присоединений (дифференциальная защита шин и т. п.).

Мощность испытательного трансформатора должна быть не меньше 200—300 *ва*. Потенциометр R может быть заменен регулировочным АТ. В схемах на рис. III. 26, *а*, *б* и *в* величина ограничивающего сопротивления $R_{ог} = 1000$ *ом*, а в схеме на рис. III.26, *г* она определяется из выражения

$$R_{ог} = \frac{1000}{K_{ТН}^2} [ом], \qquad (III.23)$$

где $K_{ТН}$ — коэффициент трансформации испытательного трансформатора.

При отсутствии испытательной установки переменного тока испытание изоляции можно заменить одноминутным измерением значения сопротивления ее мегомметром на 2500 *в* (фактическое напряжение, воздействующее на изоляцию, ниже номинального напряжения мегомметра вследствие падения в нем напряжения).

ГЛАВА IV

АППАРАТУРА ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНО-НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

1. Регулировочные устройства

В процессе испытательно-наладочных работ при выполнении многих операций требуется плавное изменение напряжения и тока. Регулировочные устройства необходимы в первую очередь при испытаниях изоляции повышенным напряжением, опробовании защит первичным током, поверке электроизмерительных приборов, снятии характеристик электроаппаратуры и средств автоматизации и т. п. В наладочной практике в качестве регулировочных устройств применяют: а) проволочные реостаты (ползунковые и ступенчатые); б) жидкостные реостаты; в) регулировочные АТ со щеточным токосъемным устройством; г) бесконтактные регулировочные АТ; д) индукционные регуляторы.

Проволочные ползунковые и ступенчатые реостаты

Проволочные реостаты применяют как регулировочные устройства, главным образом, при проверке элементов релейной защиты (см. гл. XVII) и при испытаниях установок постоянного тока. Кроме того, их часто используют в тех случаях, когда не допускают даже небольшие искажения формы кривой регулируемого напряжения (тока).

Ползунковые реостаты (табл. IV.1) пригодны для регулирования напряжения в цепях постоянного и переменного тока небольшой мощности и тока до 7 *а*. Схемы включения реостатов приведены на рис. IV.1.

Для регулирования малых значений напряжения применяется источник регулируемого напряжения типа ИРН-53 (рис. IV.2).

Устройство типа ИРН-53. Напряжение на выходных зажимах 5—0—100 *мв* при напряжении элемента 1,2 *в* и нагрузке 100 *ом*. Внутреннее сопротивление (с зажимов) 15—25 *ом*. Допустимый ток 0,04 *а*. Начальная э. д. с. сухого элемента 1,6 *в*.

Некоторыми энергосистемами (Мосэнерго, Ленэнерго и др.) разработаны и изготовлены устройства для проверки релейной защиты с ползунковыми реостатами, рассчитанными на большие токи. Однако

Технические данные реостатов типа РСП

Вариант	Допустимый ток, *а*	Сопротивление, *ом*				Диаметр проволоки, *мм*
		РСП-1	РСП-2	РСП-3	РСП-4	
1	0,25	1440	2900	4300	6500	0,24
2	0,35	740	1450	2200	3350	0,25
3	0,45	410	825	1280	1950	0,30
4	0,55	260	520	800	1200	0,33
5	0,7	180	345	530	800	0,40
6	0,85	125	240	370	560	0,45
7	1,0	95	170	265	400	0,50
8	1,4	50	105	165	250	0,60
9	1,7	30	65	100	150	0,70
10	2,1	20	41	63	95	0,80
11	2,6	15	30	45	70	0,90
12	3,0	10,5	22	33	50	1,0
13	3,4	8	17	25	38	1,10
14	4,0	6,5	13	20	30	1,20
15	4,5	—	10	15,5	23	1,30
16	5,0	—	8	12,5	19	1,40
17	5,5	—	6,8	10,6	16	1,50
18	6,2	—	5,5	8,5	13	1,60
19	7,0	—	4,5	7,0	11	1,70

эти устройства не получили распространения. Для этой цели обычно используют ступенчатые реостаты в сочетании с ползунковыми (рис. IV.3—IV.5).

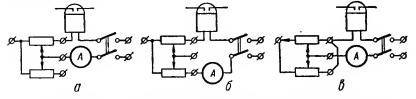


Рис. IV.1. Схемы включения ползунковых реостатов:
а — один реостат; *б* — последовательно включены два реостата; *в* — параллельно включены два реостата.

На рис. IV.6 приведена схема реостата ЦЛЭМ Мосэнерго. В реостате имеются два плеча — R_1 и R_2. Плечо R_1 состоит из 10 секций по 44 *ом* каждая. Секции выполнены из нихромовой проволоки диаметром 0,9 *мм*. Плечо R_2 имеет 16 таких секций. Длительно допустимый ток секции 5*а* (5,5 *а* в течение 5 *мин*).

Реостаты плавной регулировки R_3 и R_4 рассчитаны на длительный ток 4*а*, полное суммарное сопротивление их 300 *ом*.

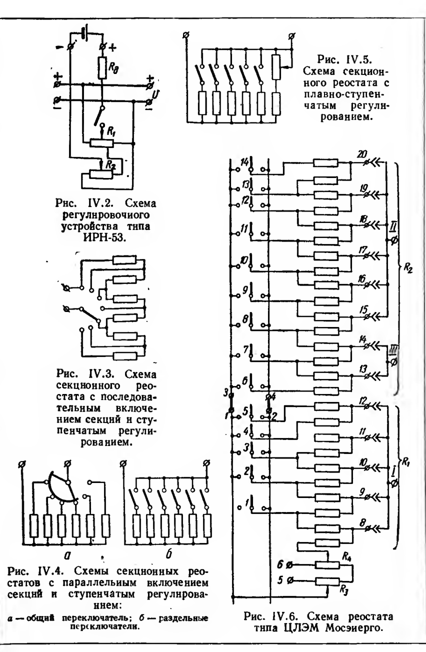


Рис. IV.2. Схема регулировочного устройства типа ИРН-53.

Рис. IV.3. Схема секционного реостата с последовательным включением секций и ступенчатым регулированием.

Рис. IV.4. Схемы секционных реостатов с параллельным включением секций и ступенчатым регулированием:

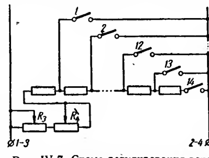
а — общий переключатель; *б* — раздельные переключатели.

Рис. IV.5. Схема секционного реостата с плавно-ступенчатым регулированием.

Рис. IV.6. Схема реостата типа ЦЛЭМ Мосэнерго.

Перемычки I, II и III служат для закорачиваиия половииы секций при включении реостата иа напряжение 127 *в*; при включении иа 220 *в* перемычкн сннмают. Перемычки *1—3* и *2—4* позволяют включать оба плеча реостата раздельно нлн параллельио; в последием случае полиый ток реостата равен прнмерио 70 *а*.

На рис. IV.7 прнведеиа принципиальиая схема включеиия реостата для регулнрования тока от 0,25 (включеи только рубильиик 14) до 5 *а* (включеиы все рубильиики). Реостаты такого типа (со штеккериыми переключателямн) применяют также в мостовых и потенциометрических установках высокого класса точиости (УТВ, УПВ, У-302 и др.).



Рнс. IV.7. Схема регулнрования тока реостатом типа ЦЛЭМ Мосэнерго в пределах 0,25 — 5*а*.

Жидкостные реостаты

При регулировке как перемеииого, так и постоянного тока иногда используют жидкостные (водяиые) реостаты. Несмотря на то, что такие реостаты неудобны, оии все же иаходят прнменеиие в процессе наладкн вследствне простоты и возможности их нзготовлеиия практически в любых условиях. Регулировка тока осуществляется либо нзмеиением положения электрода отиосительио металлического сосуда (бака, ведра н др.), в который налита вода, либо (при иеподвижном электроде) изменением уровня воды в сосуде.

Проводимость реостата можно увеличивать в иекоторых пределах, добавляя в воду поваренную соль или соду. Жидкостные реостаты можно изготовлять также иа большие мощности (до 5000 *квт*), когда иужио создать нскусствениую нагрузку для сиихроиных геиераторов. При этом нагрузка регулируется измеиеинем количества воды, протекающей через реостат.

Регулировочные АТ

Наиболее широко для регулироваиия напряжеиия примеияют регулировочные АТ со щеточным токосъемом. Такие АТ представляют собой железиый сердечиик с медиой обмоткой, иамотаииой в одии ряд. По наружной поверхиости обмотки, очищеииой от изоляции, скользит одиа нлн несколько коитактиых щеток. Через щетки и снимается регулнруемое иапряжение. Эти траисформаторы иазывают вариаторами (табл. IV.2), регуляторами напряжеиия и ЛАТРами — лабораториымн АТ, регулировочными (рис. IV.8). Аиалогичны по принципу действия театральиые регуляторы напряжеиия;

Таблица IV.2

Технические данные регулировочных АТ (вариаторов)

Тип	Максимальная мощность, *ква*	Номинальное напряжение сети, *в*	Максимально регулируемое напряжение, *в*	Число регулируемых цепей	Максимально допустимый ток нагрузки одной пары щеток, *а*	Вес, *кг*	Система охлаждения
			Однофазные				
РНО-250-0,5	0,5	127/220	250	1	2	5	Воздушная
РНО-250-2	2,0	127/220	250	1	8	15	»
РНО-250-5	5,0	127/220	250	2	20	40	»
РНО-250-10	10,0	127/220	240	2	40	70	Масляная
			Трехфазные				
РНТ-220-6	6	127/220	220±5%	2	16	60	Масляная
РНТ 220-12	12	127/220	220±5%	2	32	100	»

количество щеток у них колеблется от 2 до 10 на фазу (табл. IV.3).

Регулировочные АТ с отпайками в настоящее время в испытательной технике практически не применяют из-за сложности и громоздкости переключающего устройства.

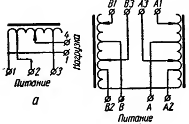


Рис. IV.8. Схемы регулировочных АТ:
а — тип РНО-250-0,5 (2); *б* — тип РНО-250-5 (10).

Таблица IV.3

Технические данные театральных регуляторов напряжения

Тип	Число фаз	Напряжение питающей сети, *в*	Номинальная мощность при продолжительности включения ПВ=25%, *квт*	Максимально регулируемое вторичное напряжение, *в*	Количество токосъемных щеток на фазу	Вес, *кг*
ТС-3М	3	127/220	30	127 или 220	2	90
ТС-4М	3	220/380	30	220 или 380	2	110
ТС-5	3	127/220	10	127 или 220	2	70
ТС-6	3	220/380	10	220 или 380	2	70
РМ-24М	3	127/220	30	127 или 220	8	320
ТР-100/3ОМ-127—220	3	127/220	100	127 или 220	10	300
ТР-100/3ОМ-220—380	3	220/380	100	220 или 380	10	300
РН-35	3	220	35	220	3	270
ТР-12/8-120	1	127	12	127	8	70
ТР-12/8-220	1	220	12	220	8	100

Бесконтактные регулировочные трансформаторы и автотрансформаторы

Принцип действия бесконтактных регулировочных трансформаторов и автотрансформаторов основан на изменении индуктивной связи обмоток, расположенных на магнитопроводе. В АТ Московского трансформаторного завода это осуществляется перемещением (вручную либо электроприводом) вдоль обмоток подвижной короткозамкнутой катушки.

В регулировочных трансформаторах индуктивная связь между обмотками изменяется при перемещении магнитного шунта. Когда шунт (средний стержень магнитопровода) выдвинут, связь между обмотками наибольшая. Технические данные этих регуляторов приведены в табл. IV.4 и IV.5.

Таблица IV.4

Технические данные регулировочных АТ

Тип	Номинальная мощность, *ква*	Номинальное напряжение сети, *в*	Ток холостого хода, %	Потери, *вт*		Вес, *кг*
				холостого хода	нагрузочные	
Однофазные						
АОСК-10/0,5	10	220 или 380	30	270	400	270
АОСК-25/0,5	25	220 » 380	30	800	1200	880
АОМК-100/0,5	100	220 » 380	30	2200	5300	2100
АОМК-250/0,5	250	220 » 380	30	4500	10500	4925
Трехфазные						
АТСК-25/0,5	25	220 или 380	30	800	1200	880
АТМК-100/0,5	100	220 » 380	30	2200	5300	2100
АТМК-250/0,5	250	220 » 380	30	4500	10500	4925

Примечание. Буквы в обозначении типа АТ означают: А — автотрансформатор; О, Т — одно- и трехфазный; СМ — сухой, масляный; К — передвижная катушка.

Таблица IV.5

Технические данные регулировочных трансформаторов

Тип	Напряжение, *в*		Вторичные токи, *а*		Вес, *кг*
	первичное	вторичное	номинальные	минимальные	
ТПР-А	380	456/228/114	10/20/40	0,5/1/2	55
ТПР-Б	380	57/28,5	80/160	4/8	65
ТПР-В	380	456/228/114/57	10/20/40/80	0,5/1/2/4	55
ТПР-Г	380	0,95/19	4400/220	220/11	45

Таблица IV.6

Технические данные индукционных регуляторов

Тип	Число фаз	Напряжение сети, *в*	Напряжение на нагрузке, *в*	Ток, *а*	Мощность, *ква*	Вес, *кг*
МА-195-56/24	1 1 1	220 380 500	0—380 0—650 0—860	250 135 100	55 52 50	1450
МА-195-56/32	1 1 1	220 380 500	0—380 0—650 0—860	380 180 135	68 68 68	1700
МА-195-74/25	1 1 1	220 380 500	0—380 0—650 0—860	400 240 175	88 91 88	2550
МА-195-74/32	1 1 1	220 380 500	0—380 0—650 0—860	500 300 230	110 114 115	2900
МА-195-99/25	1 1 1 1 1 1	380 500 6000 6000 6000 6000	0—650 0—860 0—220 0—380 0—650 0—6000	530 400 850 500 290 25	200 200 190 190 190 150	5500
МА-195-99/35	1 1 1 1 1 1	380 500 6000 6000 6000 6000	0—650 0—860 0—220 0—380 0—650 0—6000	750 570 1200 700 420 35	285 285 265 265 270 210	6000
МА-195-99/45	1 1 1 1 1 1	380 500 6000 6000 6000 6000	0—650 0—860 0—220 0—380 0—650 0—6000	950 750 1550 900 550 45	360 375 340 340 360 270	6500
МА-195-188/35	1 1 1 1	6000 6000 6000 6000	0—220 0—380 0—650 0—6000	2100 1200 700 65	460 460 460 390	8300
МА-195-188/60	1 1 1	6000 6000 6000	0—380 0—650 0—6000	2100 1300 120	800 780 720	10400
АИ-61-100	3	220	20—400	22	15	230
АИ-62-100	3	220	20—400	33	23	245

Индукционные регуляторы

Индукционные регуляторы (потенциал-регуляторы) представляют собой заторможенный асинхронный электродвигатель с фазным ротором, обмотки которого имеют автотрансформаторную (реже трансформаторную) связь. В однофазных индукционных регуляторах вторичное напряжение всегда совпадает по фазе с первичным, в трехфазных — вторичное напряжение изменяется по величине и по фазе. Технические данные отечественных индукционных регуляторов приведены в табл. IV.6.

2. Испытательные трансформаторы

Высоковольтные испытательные трансформаторы применяют при испытаниях изоляции повышенным напряжением. Для этой цели используют как специальные испытательные трансформаторы, так и трансформаторы, предназначенные для получения высокого напряжения в различных энергетических и промышленных установках. Испытательные трансформаторы в зависимости от емкости объекта, для испытания которого они могут быть применены, принято делить на две группы: 1) трансформаторы, предназначенные для испытания изоляции подстанционного оборудования (емкость не выше 10000 *пф*); 2) трансформаторы для испытания изоляции вращающихся машин.

Трансформаторы для подстанционного оборудования

Московский трансформаторный завод выпускает специальные высоковольтные испытательные трансформаторы типа ИОМ. Один вывод высоковольтной обмотки снабжен изолятором, рассчитанным на полное испытательное напряжение, второй вывод заземляется.

Длительная работа трансформаторов типа ИОМ допускается при напряжении, равном $^2/_3$ номинального, и нагрузке, составляющей 0,6 номинальной. Полные (номинальные) напряжения и ток допустимы только в течение 30 *мин*. Трансформатор должен быть защищен шаровыми разрядниками (табл. IV.7).

Кроме трансформаторов типа ИОМ для испытания изоляции подстанционного оборудования могут быть использованы:

1) высоковольтные трансформаторы от электрофильтров типа АФА-90-200 (номинальное напряжение 80/0,38 *кв*, номинальная мощность 18 *ква*, охлаждение масляное, габариты $825 \times 735 \times 1050$ *мм*, вес 250 *кг*);

2) высоковольтные трансформаторы типа ТВО-140-50 (номинальное напряжение $100 \pm 2{,}5/0{,}19$ *кв*, номинальная мощность при ПВ = = 50% равна 5,0 *ква*, вес 150 *кг*, с трансформатором накала 200/13 *в*);

Таблица IV.7

Технические данные трансформаторов типа ИОМ

Тип	Номинальное напряжение обмотки, *кв*	Номинальное напряжение обмотки высокого напряжения, *кв*	Номинальный ток обмотки высокого напряжения, *а*	Номинальная мощность, *ква*	Напряжение короткого замыкания, %	Вес, *кг*
ИОМ-100/25	0,2 или 0,35	100	0,25	25	10	525
ИОМ-100/100	0,2 или 0,35	100	1,0	100	10	990
	6,3	150	3,33	500	6,4÷9,6	20000
ИОМ-300	3,3	300	2,0	600	10	20000
	6,3	300	1,0	300	4,2÷6,5	20000
	6,3	300	1,67	500	6,4—9,6	20000
ИОМ-500/500	3,0 или 6,0	500	1,0	500	3,6—5,4	31000

3) трансформаторы напряжения типа НКФ-110 (номинальное напряжение $\frac{110}{\sqrt{3}}\Big/\frac{0,1}{\sqrt{3}}\Big/$ 0,1 *кв*, максимальная мощность 2 *ква*).

Трансформаторы для вращающихся машин

Для испытания изоляции вращающихся машин повышенным напряжением переменного тока могут быть использованы силовые трансформаторы (одно- и трехфазные), трансформаторы напряжения и резонансные. В табл. IV.8 и IV.9 приведены технические данные однофазных силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения, которые могут быть использованы при испытаниях.

Таблица IV.8

Технические данные однофазных силовых трансформаторов

Тип	Номинальная мощность, *ква*	Номинальное напряжение обмоток, *кв*		Напряжение короткого замыкания, %	Вес, *кг*
		высокого напряжения	низкого напряжения		
ОМ-5/15	5	15±10%	0,38 или 0,22	7,5	235
ОМ-33/35	20	35	0,4	5	815
ОМ-66/35	50	35±2×2,5%	0,38 или 0,22	4,5	1190

По данным испытаний ЦНИЭЛ при таком использовании силовые трансформаторы могут быть перегружены в 2,5, а трансформаторы напряжения — в 3,5—5 раз по сравнению с максимальной длительно допустимой мощностью.

Таблица IV.9

Технические данные ТН, используемых в качестве испытательных

Тип	Номинальный коэффициент трансформации	Максимальная мощность, *ква*		Максимальный ток обмотки, *а*		Вес, *кг*	Примечание
		длительная	одноминутная	длительный	одноминутный		
НОМ-6	6000/100	0,6	1,5	6	15	23	Выпуск после 1949 г.
НОМ-10	10000/100	0,72	1,9	7,2	25	—	Выпуск 1942—1948гг.
НОМ-10	10000/100	0,72	3,5	7,2	35	36,2	Выпуск после 1949г.
НОМ-15	15000/100	0,84	4,0	8,4	40	81	—
ЗНОМ-35	$35000:\sqrt{3}$ $100\sqrt{3} \div 100:3$	1,2	5,0	13	55	200	Величина тока приведена для последовательного соединения обмоток НН
НОМ-35	35000/100	1,2	6,0	12	60	248	—

Применение резонансных трансформаторов позволяет уменьшить мощность испытательной установки. Происходит это благодаря созданию условий для возникновения резонанса токов в системе емкость испытуемой машины (кабеля) — индуктивность трансформатора и разгрузке испытательной установки от индуктивной составляющей испытательного тока. Индуктивность трансформатора можно изменить либо регулировкой величины воздушного зазора, либо переключением отпаек высоковольтной обмотки.

3. Высоковольтные аппараты для испытания изоляции

Аппарат типа **АИИ-70** (рис. IV.9) предназначен для испытания электрической прочности изоляции элементов электроустановок постоянным (выпрямленным) или переменным током высокого напряжения.

Технические данные: максимальное напряжение при испытании выпрямленным током 70 *кв*, при испытании переменным током 50 *кв*; напряжение питающей сети 127, 220 *в*; наибольший выпрямленный ток 5 *ма*; выходная одноминутная мощность высоковольтного трансформатора 2 *ква*; время работы под нагрузкой (с кенотронной приставкой) 10 *мин*; интервал между включениями 3 *мин*; вес аппарата 175 *кг*.

Аппарат подключается к сети кабелем со штепсельной вилкой. Напряжение через дверной блок-контакт *БД* и предохранители подается на регулятор напряжения *РН* и на первичную обмотку накального трансформатора *ТН*, при этом загорается сигнальная

лампа $ЛС_з$. Высокое напряжеиие (ВН) включается иажатием кнопки автоматического выключателя *ВА*, иапряжение подается иа первичную обмотку высоковольтиого траисформатора *ТВВ* и загорается сигиальная лампа $ЛС_к$.

Автоматический выключатель имеет три обмотки: две обмотки соединены между собой последовательно, одна шуитируется переключателем защиты *ПЗ*. В разомкнутом положеиии *ПЗ* осуществляется «чувствительиая» защита (ток срабатываиия 8 *а*), при которой

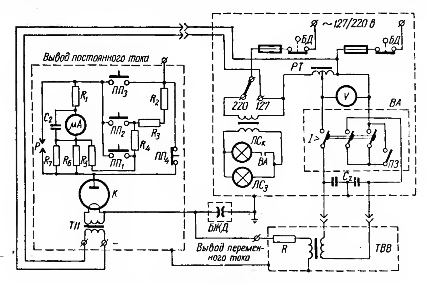


Рис. IV.9. Приицнпиальная схема соедииений кенотронного аппарата тнпа АИИ-70.

ВА срабатывает, если иа сторoие ВН происходит короткое замыкание (напряжеиие до замыкания — ие больше 20 *кв* максимальиых). Одиако защита ие срабатывает при напряжеиии 70 *кв* максимальиых и токе 5 *ма* (активиом).

При замкиутом положеиии *ПЗ* осуществляется «грубая» защита (ток срабатываиия — 20 *а*), при которой ВА не срабатывает в режиме мииутиой мощиости 2 *ква* при напряжеиии 50 *кв* и срабатывает при к. з. иа высоковольтиой сторoие (иапряжеиие до замыкания не больше 30 *кв*). Напряжеиие измеряется вольтметром, подключаемым параллельио иизковольтиой обмотке *ТВВ* и отградуироваиным в киловольтах эффективиых (до 50) и максимальных (до 70).

Коиденсатор C_2 предохраияет изоляцию обмоток *ТВВ* от повреждений при переиапряжениях. Буфериое сопротивление защищает

трансформатор и кенотрон *К* от перегрузки в случае резкого уменьшения сопротивления внешней цепи. Параллельно высоковольтной обмотке *ТВВ* может быть включена банка типа БЖД для испытания жидких диэлектриков.

Выпрямление тока осуществляется с помощью кенотрона типа КРМ-150 по однополупериодной схеме. Анод кенотрона — отрицательный полюс установки, а заземленный вывод *ТВВ* — положительный. В анодную цепь кенотрона включен блок микроамперметра, снабженный для защиты от перегрузок и перенапряжений разрядником *Р* типа 4378-Д, конденсатором C_1 и сопротивлениями R_1, R_6, R_7. Переключение пределов измерения микроамперметра (200, 1000 и 5000 *мка*) осуществляется контактами переключателей $ПП_1$, $ПП_2$ и $ПП_3$.

В комплект аппарата входит заземляющая штанга, предназначенная для снятия емкостного заряда с испытуемого объекта и его глухого заземления. Технические данные элементов аппарата АИИ-70 приведены в табл. IV-10.

Таблица IV.10

Технические данные элементов аппарата типа АИИ-70

Наименование	Обозначение согласно схеме на рис. IV 9	Технические данные
Трансформатор высоковольтный	ТВВ	2 *ква*, 100/50000 *в*
Предохранитель типа ПР-2	*П*	220 *в*, 15 *а*
Конденсатор типа МГБП	C_1	160 *в*, 10 *мкф*
Конденсатор КЗ	C_2	2×0,5 *мкф*, 500 *в*
Микроамперметр типа М-24	μ*А*	100 *мка*
Трансформатор накала	ТН	127/12 *в*
Сопротивления типа ВЗР	R_1, R_2, R_6, R_7	9,1 *ком*, 1 *вт*
Сопротивление проволочное	R_3	2000 *ом*
Сопротивление проволочное	R_4	1020 *ом*
Сопротивление проволочное	R_5	220 *ом*

Аппарат типа АКИ-50 (рис. IV.10) предназначен для испытания высоковольтной изоляции электрооборудования выпрямленным напряжением.

Напряжение питающей сети 127/220 *в*. Максимальное выпрямленное напряжение 50 *кв* максимальных. Максимальный выпрямленный ток 2 *ма*. Схема выпрямления — однополупериодная. Мощность, потребляемая аппаратом, 0,5 *ква*. Габаритные размеры 700 × 480 × 880 *мм*. Вес 125 *кг*. Выпрямительная лампа типа КРМ-110.

После несложной переделки аппарат может быть приспособлен для испытаний повышенным напряжением переменного тока. Для

этого в аппарат встраивают переключатель, шунтирующий и дешунтирующий выпрямительную лампу.

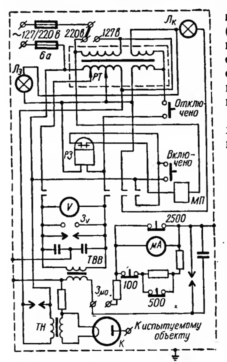


Рис. IV.10. Принципиальная схема кенотронного аппарата типа АКИ-50.

РТ — регулировочный трансформатор; *РЗ* — реле защиты; *МП* — магнитный пускатель; $З_{\mu a}$ — зажимы для контрольного микроамперметра; *ТН* — трансформатор накала; $З_v$ — зажимы для контрольного вольтметра.

Высоковольтное выпрямительное устройство типа В-140-5-2 (рис. IV.11) предназначено для выпрямления переменного тока в стационарных установках по окраске изделий в электростатическом поле. Оно может быть применено при высоковольтных испытаниях.

Технические данные: напряжение питающей сети 220 *в*; номинальное выпрямленное напряжение — до 140 *кв* максимальных; номинальный выпрямленный ток 5 *ма*; номинальная мощность 2,0 *ква*; вес 300 *кг*; выпрямительная лампа типа КР-220.

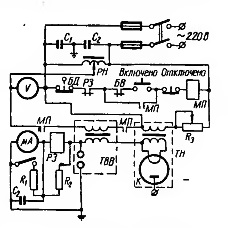


Рис. IV.11. Схема выпрямительного устройства В-140-5-2:

ТН — трансформатор накала; *РН* — регулятор напряжения типа РНО-250-2; *К* — кенотрон типа КР-220.

Высоковольтное выпрямительное устройство типа В-200-0,5 служит для питания выпрямленным напряжением стационарных лабораторных установок различного назначения.

Технические данные: напряжение питающей сети 127/220 *в*; выпрямленное напряжение до 200 *кв* максимальных; максимальный ток нагрузки 500 *мка*; пульсация напряжения на выходе в пределах

±5%; вес 350 *кг*; выпрямитель — набор селеновых шайб типа АВС-7-3П. Отрицательный полюс устройства обязательно должен быть заземлен.

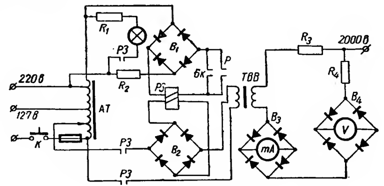


Рис. IV.12. Принципиальная схема устройства для испытания изоляции типа ИВК.

Установка типа ИВК (рис. IV.12) предназначена для испытания изоляции цепей вторичной коммутации, но может быть использована и для испытания изоляции электродвигателей и др. В ее состав входят повысительный трансформатор *T*, регулировочный АТ, ограничивающее сопротивление R_3, реле защиты (РЗ), миллиамперметр и вольтметр, включенные через выпрямители B_1 — B_4. Максимальное напряжение на выходе установки 2000 *в*; габаритные размеры 275 × × 260 × 225 *мм*; вес 20 *кг*.

Аппаратом АМИ-60 (рис. IV.13) можно определить электрическую прочность жидких диэлектриков на переменном токе.

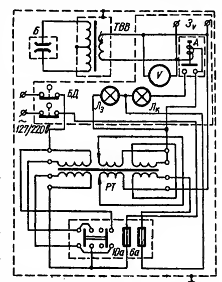


Рис. IV.13. Схема маслопробойного аппарата АМИ-60:
А — автоматический выключатель; *Б* — банка с электродами.

Технические данные: напряжение питающей сети 127/220 *в*; максимальное переменное напряжение 60 *кв*; мощность, потребляемая

аппаратом, 2 *ква*; габаритные размеры 500 × 450 × 850 *мм*; вес 130 *кг*; высоковольтных выводов — два.

Средняя точка высоковольтной обмотки повышающего трансформатора аппарата заземлена, в связи с чем максимальное напряжение между каждым из выводов и землей составляет 30 *кв*.

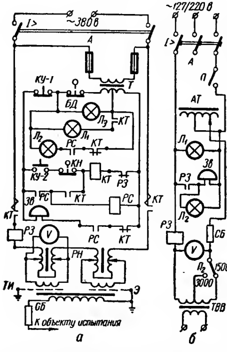


Рис. IV.14. Схемы установки типа АИИМ-25 (*а*) и аппарата типа АИИМ-3 (*б*).

Аппарат может быть использован для испытания повышенным (переменным) напряжением подстанционной аппаратуры, а при наличии выпрямительной приставки и для испытания выпрямленным напряжением изоляции оборудования, кабелей и машин. Порядок испытания трансформаторного масла описан в гл. IX.

Установка типа АИИМ-25 (рис. IV.14, *а*) служит для испытания электрической прочности изоляции электрооборудования с номинальным напряжением до 6600 *в*.

Технические данные: максимальное испытательное напряжение 25 *кв*; подводимое напряжение 380 *в*; потребляемая мощность 18 *ква*; интервал между включениями 15 *мин*; общий вес установки 700 *кг*, в том числе трансформатора 420 *кг*; величина буферного сопротивления *СБ* 0,2 *ом/в*.

Схема управления установки включается установочным автоматом *А*; при этом загорается зеленая лампа $Л_3$ (сеть). При замыкании контактов кнопки *КУ*-2 контактор *КТ* включает испытательный трансформатор *ТВВ* и загорается красная лампа $Л_1$. Контактор может быть включен только при нулевом положении регулятора напряжения *РН*, для чего предусмотрен нормально закрытый (н. з.) контакт нулевого напряжения *КН*, и при закрытой крышке пульта, когда блок-контакты блокировки безопасности *ББ* замкнуты. Повышение и понижение напряжения на выходе установки осуществляется плавным вращением рукоятки *РН*. При пробое испытуемой изоляции срабатывает *РЗ* и своими н. з. контактами отключает контактор *КТ*.

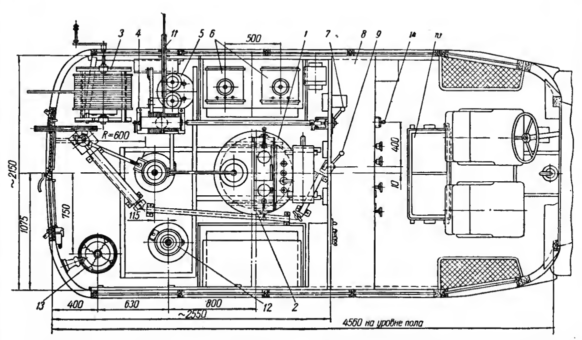


Рис. IV.15. Общий вид передвижной высоковольтной лаборатории с трансформатором типа ИОМ-100/25:
1 — испытательный трансформатор типа ИОМ-100/25; *2* — шаровой разрядник типа ШР-125; *3* — кабельный барабан питающей сети; *4* — кабельный барабан ВН; *5* — трансформатор напряжения типа НОМ-10; *6* — трансформатор накала кенотрона *7* — привод кенотронной схемы; *8* — пульт управления; *9* — привод газотронной лампы; *10* — сидение оператора; *11* — высоковольтный вывод; *12* — гетинаксовый цилиндр с кенотроном; *13* — гетинаксовый цилиндр с газотроном; *14* — рукоятка ножа заземления.

Одиовремеиис срабатывает реле сигиализации *РС*, включающее звуковой сигиал 3 *в* и красиую лампу $Л_2$ (пробой изоляции). Сиятие напряжения и испытательиого траисформатора осуществляется кнопкой *КУ*-1.

Во избежаиие опасиых перенапряжеиий устаиовка должиа включаться и отключаться при сиижеиии до иуля иапряжеиии.

Аппарат типа АИИМ-3 (рис. IV.14, *б*) предиазиачеи для испытаиия электрической прочиости изоляции электрооборудоваиия с иомииальным напряжеиием до 500 *в*.

Техиические даииые: испытательное иапряжение 0,5—3,0 *кв*; подводимое иапряжеиие 127/220 *в*; потребляемая мощиость 3 *ква*, иитервал между включеииями 5 *мин*; вес аппарата 200 *кг*. Включеиием автомата *А* подается иапряжеиие иа АТ и испытательный *ТВВ*; при этом загорается зелеиая лампа $Л_1$. При пробое испытываемой изоляции срабатывает *РЗ*, включающее звуковой *Зв* и световой $Л_2$ сигналы. К испытуемому объекту аппарат подключают с помощью испытательиых пистолетов.

Передвижиые лаборатории для высоковольтиых и других испытаиий изготовляют промышлеииые предприятия. Оборудоваиие этих лабораторий размещают иа автобусах и автоприцепах.

Коиструкции лабораторий очеиь разиообразиы. Небольшими сериями передвижиые высоковольтиые лаборатории выпускают для моитажиых и наладочиых работ. На рис. IV.15 изображеиа схема виутреииего устройства одиой из таких лабораторий.

4. Аппаратура для проверки релейной защиты, приборов и автоматики

Нагрузочные трансформаторы

Нагрузочиые траисформаторы предиазиачеиы, главиым образом, для получения больших токов (до иескольких тысяч ампер) при проверке релейиой защиты первичным током. К иагрузочиым отиосят также меиее мощиые траисформаторы (типа котельиых), которые используют для получеиия токов до 80—100 *а*, иеобходимых при проверке вторичиых реле, измерительиых приборов, элемеитов автоматики. Мощиые иагрузочиые траисформаторы разработаны и выпускаются иебольшими сериями предприятиями эиергосистем.

На рис. IV.16 приведеиа схема иагрузочиого траисформатора ТН-3 ЦЛЭМ Мосэиерго, который рассчитаи иа мощиость 30 *ква* в течеиие 10 *сек*. В табл. IV.11 помещеиы техиические даииые этого траисформатора при различиых соедииеииях выводов. Для удобства измереиий в иагрузочиый трансформатор встроеи ТТ. Размеры иагрузочиого траисформатора 320 × 230 × 290 *мм*, вес 26 *кг*.

Таблица IV.11

Технические данные нагрузочного трансформатора типа ТН-3 ЦЛЭМ Мосэнерго

Коэффициент трансформации при напряжении на первичной обмотке, в		Допустимый (номинальный) ток, а, при длительности		Вторичное напряжение холостого хода, в	Коэффициент трансформации измерительного трансформатора
110	220	до 10 мин	до 10 сек		
1 : 12	1 : 24	800	1800	9,2	800/5
1 : 6	1 : 12	400	900	18,4	400/5
1 : 3	1 : 6	200	600	36,8	200/5
1 : 1,5	1 : 3	100	300	73,6	100/5

Рис. IV.16. Схема внешних выводов (● — гайка затянута, ○ — гайка отпущена) нагрузочного трансформатора типа ТН-3 (*а*) и его принципиальная схема (*б*).

Фазорегуляторы

В испытательно-наладочной практике иногда необходимо плавно изменять фазу подводимого напряжения относительно тока или другого напряжения. Чаще всего это требуется при проверке релейной защиты с элементами направления мощности (см. гл. XVII). Для этой цели применяют индукционные ФР или вариаторы с переключателями.

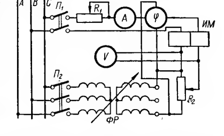


Рис. IV.17. Схема включения индукционного ФР для проверки реле направления мощности ИМ.

Индукционный фазорегулятор (рис. IV.17) представляет собой заторможенный трехфазный АД с фазным ротором, включенный

как трансформатор. При повороте ротора угол между вторичным и первичным напряжением может изменяться от 0 до 360 электр. *град.*

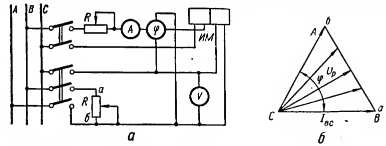


Рис. IV.18. Схема плавного изменения угла при помощи потенциометра:
а — схема включения; *б* — векторная диаграмма.

Сернйно выпускаемые промышленностью ФР предназначены для работы в комплекте с регулнруемымн ртутными выпрямителями. При выполненни наладочных работ они мало прнгодны вследствне своей громоздкостн и большого веса. Для этой целн больше прнспособлен ФР типа МАФ-22. Техническне данные фазорегулятора: номннальное лннейное напряженне статорной и роторной обмоток 220 *в*; номннальная мощность 0,23 *квт*; угол сдвнга фаз между первнчным и вторнчным напряжениями 0—360°; вес 27 *кг*.

Рис. IV.19. Схема коммутационного фазорегулятора ЦЛЭМ Мосэнерго:
1 — основная щетка; *2* — дополнительная щетка; *3* — регулятор напряжения; *4* — регулятор угла; *5* — переключатель.

Коммутационные фазорегуляторы. Принцип действия ФР, собранного на базе потенцнометра или варнатора, обмотка которого включена на лннейное напряженне, а нагрузка подключена к движку и третьей фазе, показан с помощью векторной диаграммы на рис. IV.18, *б*. В табл. IV.12 и IV.13 указано, какие фазы напряжения следует подводить к ва-

Фазы подводимых напряжений

Заданный угол, *град*	Фазы подводимых напряжений		Векторная диаграмма	Заданный угол, *град*	Фазы подводимых напряжений		Векторная диаграмма
	Первая цепь	Вторая цепь			Первая цепь	Вторая цепь	
0 и 360	*A*	*A*	A, C, B	180	*A*	—*A*	180°, A, C, B, −A
30	*A*	*AB*	AB, A, 30°, C, B	210	*A*	*BA*	210°, A, C, B, BA
60	*A*	—*B*	60°, A, −B, C, B	240	*A*	*B*	240°, A, C, B
90	*A*	*CB*	90°, A, CB, C, B	270	*A*	*BC*	270°, A, BC, C, B
120	*A*	*C*	120°, A, C, B	300	*A*	—*C*	300°, A, −C, C, B
150	*A*	*CA*	150°, A, C, B, CA	330	*A*	*AC*	A, AC, C, B, 330°

риаторам для получения нужных углов между первичным и вторичным напряжением. При этом данные табл. IV.12 предусматривают возможность подачи междуфазных и фазных напряжений, а табл. IV.13 — только междуфазных. Фазы могут быть переключены переключателем (рис. IV.19). Второй вариатор в этой конструкции служит для одновременного поддержания напряжения, так как величина его изменяется на $\pm 15\%$ при изменении фазы. Основная *1* и дополнительная *2* щетки закреплены под углом 120° друг к другу.

Таблица IV.13

Фазы подводимых напряжений

Заданный угол, *град*	Фазы подводимых напряжений		Векторная диаграмма	Заданный угол, *град*	Фазы подводимых напряжений		Векторная диаграмма
	Первая цепь	Вторая цепь			Первая цепь	Вторая цепь	
0 и 360	*AB*	*AB*		180	*AB*	*BA*	
60	*AB*	*CB*		240	*AB*	*BC*	
120	*AB*	*CA*		300	*AB*	*AC*	

Устройства для регулирования частоты

Частоту чаще всего регулируют в пределах 45—50 *гц* (реже 50—55 *гц*) при проверке реле частоты (типа ИВЧ-011, ИРЧ-01 и др.) и частотомеров.

Регулирование частоты осуществляется:

1) синхронными генераторами, на которых установлены реле частоты или частотомеры, при работе их вхолостую (крайне неэкономичный способ);

2) лабораторными маломощными синхронными генераторами с приводом от регулируемых двигателей постоянного тока;

3) АД с фазным ротором, вращаемым от исполнительного двигателя со скоростью, равной $\pm 10\%$ номинальной; обмотка статора при этом подключается к сети с напряжением, равным номинальному, а к не закороченной обмотке ротора подключаются поверяемые и образцовые приборы и реле (рис. VI.20);

4) ламповыми генераторами технической частоты типа ГТЧ и др.

Технические данные ГТЧ: напряжение питания 127/220 *в*; напряжение на выходе 100; 127; 220 и 380 *в*; выходная мощность до 30 *вт*; вес примерно 13 *кг*.

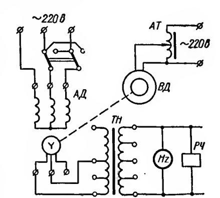


Рис. IV.20. Схема устройства для проверки реле частоты на базе АД с фазным ротором:
ВД — вспомогательный двигатель; *РЧ* — реле частоты.

Комплектные испытательные устройства

Эти устройства широко используют при испытаниях релейной защиты и автоматики. Применение их значительно сокращает затраты времени на подбор испытательной аппаратуры и сборку схемы, а также повышает безопасность и удобство работ. Принципиальные схемы простейших комплектных устройств с нагрузочными реостатом и трансформатором приведены на рис. IV.21 и IV.22.

Принципиальная схема испытательного устройства ИЗТ-3 ЦЛЭМ Мосэнерго изображена на рис. IV.23. В устройство включены следующие элементы.

1. Потенциометр (реостат) R со ступенчатой обмоткой, состоящей из двух секций для включения на напряжение 220 и 110 *в* как переменное, так и постоянное. Допустимый ток потенциометра при параллельном соединении секции 10 *а* длительно и 30 *а* на 30 *сек*, а при последовательном соответственно 5 и 10 *а*.

2. Нагрузочный трансформатор НТ с двухсекционной первичной обмоткой для переключений на 110 и 220 *в* (накладкой H_1). Вторичная обмотка также секционирована; переключения производятся

на коммутаторе K. Макснмальный длнтельный ток на выходе НТ 150 *а*; кратковременно (до 0,5 *мин*) можно получать токн до 400—500 *а* (в этом случае НТ включается в сеть непосредственно). Напряження на выходе трансформатора 27,5; 55 нлн 110 *в*.

3. Добавочное сопротнвленне $R_д$, предназначенное для получения правильной формы кривой вторичного тока НТ при проверке элементов релейной защиты. Сопротивленне разбито на ступенн — 1; 6 и 30 *ом* с допустнмымн токамн соответственно 10; 5 н 1 *а*.

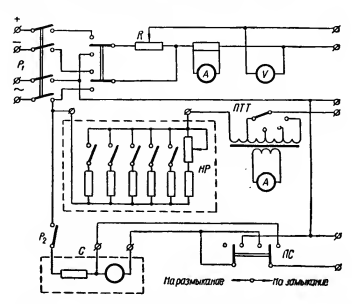


Рис. IV.21. Схема переносного устройства для проверки РЗ с нагрузочным реостатом НР:
С — секундомер; *ПС* — переключатель секундомера; ПТТ — переключатель *ТТ*.

4. Разделнтельный трансформатор T для включения электросекундомера.

5. Реле P для остановки секундомера прн проверке защит, работающих на постоянном оперативном токе.

6. Переключатели $П_1 — П_8$ для набора требуемой схемы и включения устройства.

Габаритные размеры устройства тнпа ИЗТ-3 490 × 420 × 204 *мм*; вес 25 *кг*. Устройство предназначено для проверкн простых защит (максимально токовых, отсечек н т. п.).

Для проверки более сложных защит (направленных, дистанционных и др.) к устройству ИЗТ-3 добавляют приставку типа ИЗН-3 (рис. IV.24). Основное назначение приставки ИЗН-3 — обеспечить плавное регулирование напряжения и ступенчатое (через 30 или 60°) регулирование угла сдвига фаз между током от устройства ИЗТ-3 и напряжением приставки.

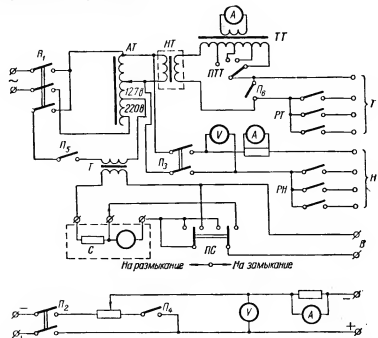


Рис. IV.22. Схема переносного устройства для проверки РЗ с нагрузочным трансформатором:
T — токовые цепи; *H* — цепи напряжения.

Приставка состоит из следующих элементов: а) ступенчатого фазорегулятора φ; б) реле P_1, предотвращающего попадание на фазорегулятор линейного напряжения; в) потенциометра R_3, допускающего ток до 2 *а*; г) сопротивления R_1, обеспечивающего вместе с потенциометром плавное регулирование напряжения в небольших пределах; д) фазоуказателя *ФУ*.

Габаритные размеры приставки 420 × 205 × 270 *мм*; вес 10 *кг*.

Аналогичные устройства в небольшом количестве выпускают некоторые энергосистемы (Ленэнерго, Пермьэнерго и др.).

Рис. IV.23. Принципиальная схема испытательного устройства типа ИЗТ-3.

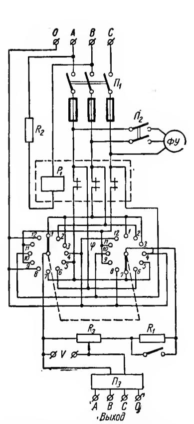


Рис. IV.24. Принципиальная схема приставки типа ИЗН-3.

5. Комплекты приборов и приборы специального назначения

Переносной измерительный комплект типа К-50 (табл. IV.14) предназначен для измерения тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных, трехпроводных и четырехпроводных сетях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузке фаз. Применяется он с блоком трансформаторов тока типа И-508. Класс точности прибора 0,5. Погрешность с блоком ТТ типа И-508—0,7%. Номинальная область частот 45—65 *гц*, расширенная — 65—500 *гц*. Номинальный коэффициент мощности 1. Длина шкалы приборов 110 *мм*.

Таблица IV.14

Пределы измерений комплекта типа К-50

Номинальные токи, *а*	Номинальная мощность для одной фазы (предельная), *квт*, при напряжении, *в*				Примечание
	150	300	450	600	
1	0,15	0,3	0,45	0,6	—
2,5	0,375	0,75	1,125	1,5	—
5	0,75	1,5	2,25	3,0	—
10	1,5	3,0	4,5	6,0	—
25	3,75	7,5	11,25	15,0	—
50	7,5	15	22,5	30,0	
100	15	30	45	60	С блоком ТТ типа И-508
250	37,5	75	112,5	150	
500	75	150	225	300	
600	90	180	270	360	

Примечание. Мощность трехфазной цепи определяют как сумму измеренных в каждой фазе мощностей.

Измерительный комплект типа К-51 имеет то же назначение, что и комплект типа К-50. Этим комплектом дополнительно может быть измерена реактивная мощность.

В комплект входят: 1) двухэлементный ваттварметр; 2) вольтметр Э-59; 3) три амперметра типа Э-59; 4) встроенные многопредельные ТТ с коэффициентами трансформации 1; 2,5; 5; 10; 25; 50/5*а*; 5) добавочные сопротивления. Пределы измерения напряжения ваттварметра — 125; 250; 375; 500 *в*; вольтметра — 150; 300; 450; 600 *в*; 6) ФУ; 7) отдельный ТТ типа И-520.

Пределы измерения по току с учетом ТТ типа И-520—100; 250; 500 и 600 *а*. Основная погрешность при измерении активной мощности и напряжения 0,5%, реактивной мощности и тока 1%. Габаритные размеры комплекта 600 × 390 × 220 *мм*, блока трансформатора И-520 265 × 96 × 225 *мм*. Вес комплекта 19 *кг*, блока 5 *кг*.

Комплекты переносных приборов постоянного тока типа ЧК-1, ЧК-2 и ЧК-3. В комплект ЧК-1 входят: 1) милливольтметр типа М45М на 75 *мв*; 2) вольтметр на любой из пределов: 3 *в*; 3—15—150 *в*; 3—15—150—300 *в*; 15—150—450 *в*; 150—300—600 *в*; 3) шунты типа 75РИ (3 шт.) на любые из пределов: 0,3—0,75 *а*; 1,5—7,5 *а*; 15—30 *а*; 75 *а* и 150 *а*; 4) пара калиброванных проводников; 5) чемодан.

Комплект ЧК-2 содержит: 1) вольтметр типа М45М на пределы 75*мв*; 3—15—150 *в*; 2) шунты те же, что и в комплекте ЧК-1; 3) пару калиброванных проводников; 4) чемодан.

Комплект ЧК-3 состоит из таких элементов: 1) двух милливольтметров типа М45М на 75—0—75 *мв*; 2) вольтметра типа М45М на 150—300—600 *в*; 3) двух шунтов типа 75ШСМ на 500 *а*; 4) шунта типа 75ШСМ на 1500 *а*; 5) двух шунтов типа 75РИ на 15—30 *а*; 6) двух пар калиброванных проводников; 7) чемодана.

Микроомметр М-246, предназначенный для измерения малых сопротивлений — переходных сопротивлений выключателей, шин, разъединителей и др., — многопредельный переносной прибор.

Технические данные микроомметра: напряжение питания 127/220 *в*; верхние пределы измерения сопротивления 100; 1000 *мком*; 10; 100; 1000 *Мом*; нижний предел измеряемого сопротивления 2 *мком*.

В качестве измерителя в приборе использован логометр, одна рамка которого подключена параллельно образцовому сопротивлению, встроенному в прибор, вторая — измеряемому сопротивлению.

В микроомметр встроено реле типа РП-4, предотвращающее повреждения его при неправильном выборе предела измерения. Возврат реле в рабочее положение после срабатывания его производится нажатием кнопки.

Мост переменного тока типа МД-16 (рис. IV.25) предназначен для измерения на стороне ВН $\mathrm{tg}\,\delta$ и емкости C_x изоляции высоковольтного оборудования, измерения на стороне НН емкости конденсаторов, кабелей и т. п. Мост допускает измерения на объектах, один из электродов которых наглухо заземлен.

Техническая характеристика прибора следующая.

1. При работе на высоком напряжении: емкость испытуемых объектов должна лежать в пределах $0{,}3 \cdot 10^{-4} - 0{,}4$ *мкф*; $\mathrm{tg}\,\delta = 0{,}5 - 60\%$; емкость образцового конденсатора $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ *мкф;* номинальное напряжение моста 10 *кв*; погрешность измерения по емкости $\pm 5\%$, по $\mathrm{tg}\,\delta$ при $\mathrm{tg}\,\delta = 0{,}5 - 3\% - \pm 0{,}3\%$, при $\mathrm{tg}\,\delta = 3 - 60\% - \pm 10\%$ от измеряемой величины тангенса; осветительный трансформатор питается от сети 127/220 *в*; потребляемая из сети мощность 20 *ва*.

2. При работе на низком напряжении: измеряемая емкость $0{,}3 \cdot 10^{-3} - 100$ *мкф*; емкость образцового конденсатора 0,001

и 0,01 *мкф*; напряжение питания схемы моста 100 *в* (через осветительный трансформатор); точность измерения ±5%.

Габаритные размеры моста 500 × 280 × 290 *мм*, вес 15 *кг*; образцового конденсатора 400 × 140 × 530 *мм*, вес 12 *кг*. Схемы включения моста (нормальная и перевернутая) приведены в гл. III.

Прибор для контроля влажности типа ПКВ-13 применяют при оценке увлажненности изоляции силовых трансформаторов по методу емкость — частота. Критерием увлажненности изоляции служит отно-

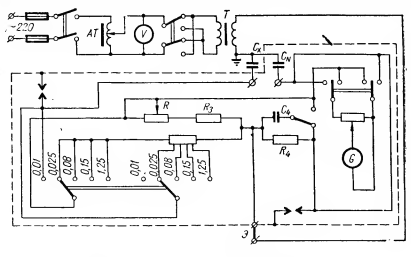


Рис. IV.25. Принципиальная схема моста переменного тока типа МД-16.

шение емкости, измеренной при частоте 2 *гц*, к емкости, измеренной при частоте 50 *гц* (C_2; C_{50}), которое отсчитывается непосредственно по шкале прибора ПКВ-13. Прибором можно измерять влажность на объектах с емкостью от 1000 до 50000 *пф*. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 15 *мом*, иначе погрешность определения отношения $\frac{C_2}{C_{50}}$ может значительно возрасти. Прибор работает на принципе заряда и разряда емкости с измерением средней величины разрядного тока компенсационным методом.

Вольтамперфазоиндикатор типа ВАФ-85 (рис. IV.26) предназначен для не очень точных, но быстрых измерений напряжения, тока (без разрыва цепи), угла сдвига фаз при наладке релейной защиты. Прибором можно легко и удобно определять порядок чередования фаз, измерять ток небаланса дифференциальных защит, снимать векторные диаграммы.

Технические данные прибора ВАФ-85: пределы измереиия иапряжеиия 1; 5; 25; 125 и 250 *в*; пределы измерения тока с помощью токосъемной клещевой приставки 1; 5 и 10 *а*; пределы измерения тока небалаиса (без клещевой приставки) 10; 50 и 250 *ма*; входиое сопротивление на всех пределах напряжения 2500 *ом*; осиовная погрешность по току и напряжению ±5%; осиовиая погрешность по углу ±5°; вес прибора с приставкой 5 *кг*.

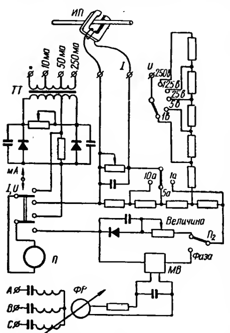


Рис. IV.26. Схема вольтамперфазоиндикатора типа ВАФ-85:
МВ — механический выпрямитель; *П* — измерительный прибор; *ИП* — измерительная приставка.

Падение напряжеиия и сопротивления прибора при измерении токов иебалаиса:

Предел, *ма*	Падение напряжения, *мв*	Сопротивление, *ом*
10	40	4,0
50	10	0,2
250	4,5	0,018

Токоизмерительными клещами можно измерять перемеииый ток в проводах, жилах кабеля, шииах и т. п. без предварительного разрыва цепи. Встроенный в клещи ТТ выполиеи с раздвижным магнитопроводом, охватывающим проводиик с измеряемым током, который и становится первичной обмоткой трансформатора. Вторичиая обмотка и измерительный прибор размещены чаще всего непосредственно на клещах.

Токоизмерительиые клещи типа *Ц*-30 предиазиачеиы для измереиия тока в установках иапряжеиием до 600 *в*. Технические даииые токоизмерительиых клещей: пределы измереиия по току 15; 30; 75; 300; 600 *а*; предел измерения напряжения (имеются специальиые клеммы) 600 *в*; габаритиые размеры 390 × 125 × 80 *мм*; вес 2 *кг*.

Прибор для обнаружения витковых замыканий в обмотках электрических машин и аппаратов типа СМ-1. С помощью прибора СМ-1 можио обиаружить витковые замыкаиия в обмотках электрических машин и аппаратов, иайти паз с короткозамкиутыми витками в обмотках электрических машии.

Таблица IV.15

Технические данные многопредельных приборов (тестеров)

Тип	Класс	Пределы измерения				Сопротивление цепи напряжения, *ом/в*	
		по постоянному току	по постоянному напряжению	по переменному току	по переменному напряжению	переменного	постоянного
АВО-5М	4,0	60; 300 *мка* 3; 30; 120 *ма* 1; 2; 12 *а*	3; 12; 30; 300; 600; 1200; 6000 *в*	3; 30; 120 *ма* 1; 2; 12 *а*	3; 12; 30; 300; 600; 1200; 6000 *в*	2000	20000
Ц-315	1,5; 2,5	1; 2; 5; 10; 25; 100; 250*ма*, 1,5*а*	2,5; 10; 25; 100; 250; 500; 1000 *в*	2,5; 10; 25; 100; 250 *ма* 1,5 *а*	2,5; 10; 25; 100; 250; 500; 1000 *в*	400	1000
Ц-20	4,0	0,3; 3; 30; 300; 750 *ма*	1,5; 6; 30; 120; 600 *в*	—	7,5; 30; 150; 600 *в*	2000	10000
Ц-51	1,0; 1,5; 2,5	75; 300 *мка* 3; 15; 30; 150; 1500 *ма*	3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 *в*	3; 15; 30; 150; 1500 *ма*	3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 600 *в*	2000	20000
Ц-52	1,5; 2,5	0,15; 3; 15; 60; 300; 1500 *ма*	75 *мв* 3; 7,5; 15; 30; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	3; 15; 60; 300; 1500 *ма*	3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	2000	20000
Ц-56	1,5; 2,5	0,3; 1,5; 6 15; 60 *ма* 0,15; 0,6 1,5; 6 *а*	75; 300 *мв* 1,5; 7,5; 15; 60; 150; 300; 600 *в*	1,5; 6; 15; 60 *ма* 0,15; 0,6; 1,5; 6 *а*	300 *мв* 1,5; 7,5; 15; 60; 150; 300; 600 *в*	667	667
Ц-57	1,5; 2,5	150 *мка*; 3; 15; 60 *ма*; 0,3; 1,5 *а*	75 *мв* 3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	3; 15; 60 *ма* 0,3; 1,5 *а*	3; 7,5; 15; 30; 150; 300; 600 *в*	2000	20000
ТТ-1	2,5, 4	0,2; 1; 5; 20; 100; 500 *ма*	10; 50; 250; 1000 *в*	—	10; 50; 250; 1000 *в*	—	—
ТТ-3	2,5	100 *мка* 0,3; 3; 30 *ма* 0,3; 3 *а*	1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000 *в*	—	1; 3: 10; 30; 100; 300; 1000 *в*	—	—

Прибор переиосной, портатнвиый и удобиый для работы как в ремоитиых цехах, так и на месте устаиовки машии.

Нахождеиие в машнне паза с к. з. витками производится двумя П-образными электромагиитами, на одиом из которых размещеиа катушка со 100 витками, а иа другом с 2000 витков. Переставляя оба электромагнита с паза иа паз по расточке статора или по поверхиости ротора (якоря МПТ), иа экране электронно-лучевой трубки прибора можио наблюдать следующее: при отсутствии в пазу к. з. витков на экраие появится прямая линия нли кривые с малыми амплитудами; при иалнчии в пазу к. з. витков на экране появятся две кривые с большими амплитудами, вывернутыми по отношению друг к другу. По этим кривым и иаходят паз с к. з. витками.

Габарнтные размеры прибора 220 × 345 × 475 *мм*; вес его — 17,5 *кг*.

Более совершениым прибором, служащнм для той же цели, является аппарат типа ЕЛ1. Габарнтиые размеры аппарата ЕЛ1 170 × 250 × 330 *мм*; вес 9,5 *кг*.

Универсальный аппарат типа ВЧФ-4-3 предназиачеи для испытания электрической прочиости витковой изоляции: а) шаблоииых и всыпных обмоток иизковольтиых электрических машин переменного и постоянного тока мощиостью от 0,1 до 100 *квт* и больше; б) обмоток роторов турбогенераторов; в) полюсиых катушек сихроииых геиераторов н машин постояииого тока; г) обмоток силовых трансформаторов I, II н III габаритов; д) обмоток ТТ; е) катушек различиых электро- и радиоаппаратов.

Техннческие даиные: иапряженне питання 220 *в*; потребляемая мощность до 800 *ва*; выходное иапряжеиие (регулнруемое) 3000 *в*.

Чувствнтельность аппарата позволяет обиаружнть однн к. з. внток у катушек с числом витков 18000—20000, иамотаниых проводом диаметром 0,1 *мм* н больше. Габаритные размеры аппарата 230 × 300 × 400 *мм*; вес 22 *кг*.

Многопредельные вольтамперметры нашлн широкое примеиеиие в иаладочиой практике как уииверсальные приборы (табл. IV.15).

ГЛАВА V

ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. Введение

В процессе изготовлеиия, пуска, ремоита и реконструкции электрические машииы (ЭМ) подвергают испытаииям для определения пригодиости их к эксплуатации. Объемы, программы, иормы и методы этих испытаиий приводятся в ГОСТах, Правилах устройства электротехиических устаиовок, ведомствеииых и межведомствеиных руководящих, директивных и инструктивных материалах, заводских ииструкциях и т. п.

Осиовиым ГОСТом, определяющим общие технические требования к ЭМ, является ГОСТ 183—55, который предусматривает также программу и методы коитрольиых и типовых испытаиий машии после их изготовлеиия. В настоящее время издаиы специальные ГОСТы, определяющие и уточняющие методы испытаиий асиихронных трехфазных электродвигателей (ГОСТ 7217—54), машин постояниого тока (ГОСТ 10159—62) и синхроииых машин (ГОСТ 10169—62). Отдельные испытаиия, не вошедшие в ГОСТ 183—55, предусматриваются ГОСТами иа конкретные ЭМ (гидро- и турбогеиераторы, синхроиные компеисаторы и т. д.).

Осиовиые виды испытаиий, общие для ЭМ всех тнпов: 1) виешиий осмотр и проверка механической части машины; 2) измерение сопротивления изоляции обмоток машнн отиосительно корпуса и между обмотками; 3) испытаиие электрической прочиости изоляции обмоток отиосительно корпуса и между обмотками; 4) испытаине электрической прочиости междувитковой изоляции отдельиых обмоток; 5) измерение сопротивлеиия обмоток при постояииом токе и практически холодном состоянии; 6) определеиие характеристики холостого хода (XXX); 7) испытание при повышенной скорости вращеиия; 8) испытаиие иа нагрев; 9) определеиие потерь и к. п. д. машины; 10) измереиие вибрации подшипиков; 11) определеиие механических характернстик.

Кроме того, общими для различиых типов ЭМ являются методы отыскаиия и устраиения иекоторых нх повреждеиий и неисправ-

ностей: а) отыскание места пробоя обмоток на корпус и некачественных паек и болтовых соединений частей обмоток; б) определение причин неисправности подшипников и повышенной вибрации; в) определение неисправностей системы вентиляции.

2. Внешний осмотр и проверка механической части

Внешний осмотр — одна из эффективных форм профилактики и выявления неисправностей ЭМ.

ГОСТы, ПУЭ, ПТЭ, ведомственные и заводские инструкции требуют, чтобы при внешнем осмотре было проверено следующее:

1) чистота в помещении, где установлена ЭМ;

2) комплектность машины (наличие всех деталей, паспортного и клеммного щитков и необходимых обозначений на них);

3) соответствие паспортных данных машины проектным данным или техническим условиям;

4) наличие и содержание технической документации по ревизии или ремонту машины;

5) заполнение подшипников смазкой до заданного уровня и отсутствие течи масла;

6) отсутствие во внутренних частях машины посторонних предметов (для этого пространство между железными частями просвечивают или проверяют шнуром; машину продувают сухим чистым воздухом с помощью резинового шланга без металлического мундштука);

7) соответствие предусмотренного заводом направления вращения с требуемым направлением для сочленения с первичным двигателем или приводным механизмом (если на корпус ЭМ нанесена заводская метка, указывающая направление вращения, то этого, как правило, требует конструкция вентилятора, не обеспечивающая при обратном вращении подачи нужного для охлаждения машины количества воздуха; в этом случае нужно либо развернуть машину на 180°, когда имеются выводы вала с двух сторон, либо переставить крыльчатки вентиляторов для обеспечения нормальной вентиляции);

8) целость изоляции и соединений видимых частей обмоток и выводов; при этом должна быть обеспечена надежность креплений и распорок лобовых частей обмоток и необходимое расстояние между неизолированными частями и корпусом;

9) наличие заземляющей проводки и качество соединения ее с машиной;

10) наличие и соответствие проекту контрольно-измерительных приборов, термодетекторов, маслоуказателей, а также правильность их установки;

Таблица V.1

Технические характеристики электрощеток

Группа	Марка	Номинальная плотность тока, $a/см^2$	Максимально допустимая окружная скорость, *м/сек*	Рекомендуемое удельное нажатие, $г/см^2$	Среднее удельное электрическое сопротивление, $ом \cdot мм^2/м$	Переходное падение напряжения на пару щеток, *в*	Максимальное значение коэффициента трения	Средняя твердость по Шору
Угольно-графитная	Т2	6	10	200—250	54	1,5—2,5	0,3	52
	УГ2	8	15	200—250	21	1,5—2,5	0,3	50
Графитная	Г1	7	12	200—250	37	1,7—2,7	0,3	43
	Г3	11	25	200—250	12	1,5—2,3	0,25	35
	40	10	60	150—200	13—25	1,7—3,2	0,25	3—6
Электрографитированная	ЭГ2	10	45	300—400	27	2,0—3,2	0,20	53
	ЭГ4	12	40	150—200	10	1,6—2,4	0,20	25
	ЭГ8	10	40	200—400	45	1,9—2,9	0,25	48
	ЭГ14	11	40	200—400	30	2,0—3,0	0,25	50
	ЭГ15	9	35	200—400	50	1,9—3,1	0,25	—
	ЭГ5	12	40	150—200	17	1,8—3,0	0,25	—
	ЭГ9	10	40	200—400	45	2,4—3,4	0,25	—
	ЭГ83	9	45	200—400	50	2,5—3,5	0,25	—
Металлографитная	М1	15	25	150—200	4,8	1,0—2,0	0,25	32
	М3	12	20	150—200	9,0	1,4—2,2	0,25	35
	М6	15	25	150—200	3,5	1,0—2,0	0,20	30
	М20	12	20	150—200	8,5	1,0—1,8	0,25	30
	МГ, МГО	20	20	180—230	0,12	0,1—0,3	0,20	6—18
	МГ2	20	20	180—230	0,25	0,3—0,7	0,20	6—14
	МГ4	15	20	200—250	0,8	0,6—1,6	0,20	27
	МГ6	18	20	200—250	0,7	0,6—1,4	0,20	24
	МГС, МГСО, СМ	20	20	200—250	0,20	До 0,4	0,25	6—20
	МГС5	15	35	200—250	8,5	До 2,0	0,25	—

11) правильность выполнения охладительной системы — уплотненность всех швов и стыков, наличие и состояние тепловой изоляции короба горячего воздуха, водопроводов, конденсаторов паровых турбин, находящихся в камере холодного воздуха, состояние фильтров, воздухоохладителей, наличие кюветов и водовыводящих труб с гидравлическим или войлочным затвором и т. п.;

12) состояние устройства пожаротушения;

13) состояние соединительной муфты или ременной передачи, наличие защитного кожуха и др.;

14) плотность прилегания двух половин разъемной станины (в разъем не должен входить щуп толщиной 0,3 *мм*);

15) соответствие выбранных щеток техническим условиям (табл. V.1).

Измерение величины воздушных зазоров

Величину воздушных зазоров проверяют набором щупов (рис. V.1) под каждым полюсом (у машин с явно выраженными полюсами) или не менее чем в четырех — восьми точках (у машин неявнополюсных).

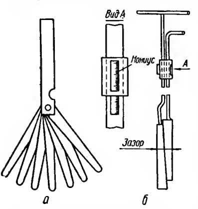


Рис. V. 1. Наборы щупов:
а — для измерения зазоров; *б* — клиновой для измерения зазоров 10—20 *мм*.

Чтобы получить надежные результаты, зазоры следует измерить при нескольких положениях ротора. Зная величину воздушных зазоров, можно определить форму наружной поверхности неявнополюсной вращающейся части машины или равномерность посадки полюсов явнополюсных роторов. Для этого зазор измеряют в одной и той же точке статора при постепенном проворачивании вращающейся части. Измеряя зазор в одной и той же точке вращающейся части машины, определяют форму полюсов или расточки статора. При небольшой длине активной стали машины (до 300 *мм*) зазоры можно измерить с одной стороны, при большой длине — с обеих сторон. За величину зазора принимается толщина полоски или набора полосок щупа, которые входят в зазор с некоторым усилием.

Поворачивание ротора

Ротор машины поворачивают для проверки его свободного вращения и наличия выбега. Для малых машин эту операцию производят вручную, для больших — с помощью лома или крана. В послед-

нем случае на вал наматывают несколько витков троса, один конец которого закрепляют на валу, так чтобы он освободился при раскручнванни, а второй — к крюку крана.

Такая проверка перед первым пуском машины нли после длительной ее стоянкн в условнях, когда в машину моглн попасть посторонние предметы, обязательна.

Проверка механических креплений

Крепленне деталей машины, особенно на вращающейся части, проверяют прн обнаружении внбрации нлн постороннего шума в машнне. Затяжку болтов проверяют гаечным ключом, снабженным ограничителем прилагаемого усилня. Особое внимание должно быть обращено на предохранителн от самоотвинчнвання гаек и болтов на вращающейся частн машнны. Проверяют также плотность посадки катушек на полюсах н клиньев в пазах.

Измерение биения деталей ЭМ

Бнение деталей вращающейся частн машины (вала, сердечнннка, коллектора н др.) измеряют инднкатором (рис. V.2), укрепленным на штатнве так, что его наконечник упнрается в нсследуемую деталь вращающейся частн. Ось наконечника должна являться как бы продолжением диаметра деталн.

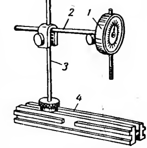


Рис. V.2. Внешний вид индикатора:
1 — индикатор; *2* — держатель; *3* — вертикальная стойка; *4* — постамент.

Вращающаяся часть машнны приводится в медленное вращение, разность между максимальным и минимальным показаниямн нндикатора определяет величину биения. При этом необходимо следнть за равномерностью изменення показаний индикатора. Скачкообразные изменения, свидетельствующие о наличии дефектов цилиндрнческой поверхностн исследуемой детали, не должны учнтываться при определении величины бнения.

3. Испытание изоляции

Измерение сопротивления

Сопротнвление изоляцин обмоток машин измеряют чаще всего мегомметром на напряженне 250; 500; 1000 или 2500 *в*. Выбор мегомметра обусловливается номинальным напряжением обмотки и типом машины.

Ток, протекающий через изоляцию от мегомметра, с теченнем временн изменяется вследствие влияния емкости и увлажненности,

в связи с чем показаиия мегомметра ие постоянны. Во миогих случаях они устанавливаются в течеиие иескольких миизут.

Для получеиия иадежиых и сравиимых между собой результатов отсчет показаиий ведут через 60 *сек* с момента приложеиия иапряжеиия мегомметра к изоляции. Во миогих руководствах эта величина обозиачается R_{60}. Однако, иезависимо от обозиачеиия, в тех случаях, когда речь идет о сопротивлении изоляции ЭМ, имеется в виду сопротивление, измереииое через 60 *сек* после подключения к изоляции иапряжения мегомметра.

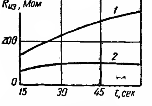


Рис. V.3. Кривые абсорбции для сухой (*1*) и увлажненной (*2*) изоляции.

При пуске машии после моитажа, ремоита, длительной остаиовки и т. п. по коэффициеиту абсорбции $K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$ и по даииым других испытаний судят о иеобходимости сушки изоляции обмоток ЭМ. Характер измеиеиия сопротивления изоляции $R_{из}$ во времени показан иа рис. V.3.

Во время измереиия сопротивления изоляции одной из обмоток машины остальиые обмотки соединяют с корпусом, к которому подключают также соответствующий зажим мегомметра (земля); второй зажим мегомметра (лииия) подсоедиияют к испытуемой обмотке.

Рис. V.4. Схема измерения сопротивления изоляции с помощью вольтметра.

Если вместо сопротивлеиия изоляции проверяют только отсутствие замыкаиия обмоток иа корпус или между обмотками, время измереиия может быть умеиьшено до получения надежных показаний мегомметра. Такую проверку можно осуществлять, поочередно присоединяя мегомметр к выводам обмотки и корпусу и к выводам двух различных обмоток.

При измереиии иа машине, которая подключеиа к регулировочиой, коммутациоииой, измерительиой и другой аппаратуре, иеобходимо отсоедииить все ее элемеиты, имеющие электрическую связь с землей. В этом случае для отыскания участков с пониженной изоляцией схему иеобходимо разделить иа части.

Кроме мегомметра, для измереиия сопротивлеиия изоляции обмоток могут быть использованы источиик постояиного (или переменного) напряжения (100 — 500 *в*) и вольтметр с большим виутреииим сопротивлеиием $R_в$ (500 — 1000 *ом/в* и больше). Сначала вольтметром V_2 измеряют иапряжение источника, затем вольтметр V_1 включают последовательно с сопротивлеиием изоляции (рис. V 4).

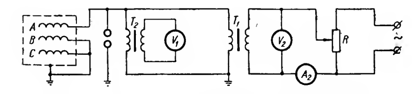
Велнчина сопротивления изоляцин определнтся как

$$R_{из} = R_{в}\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right). \qquad (V.1)$$

Испытание электрической прочности изоляции обмоток.

Это нспытание, не представляя опасностн для исправной части изоляции, позволяет выявить имеющнеся дефектные участкн н обеспечнть надежную эксплуатацню машины.

Все машнны испытывают переменным напряжением промышленной частоты. Схема нспытаний, приведенная на рис. V.5, включает



Рнс. V.5. Схема соединеннй при испытании изоляции обмоток ЭМ повышенным напряжением.

устройство регулнрования напряжения, повысительный трансформатор T_1, защитное сопротивление,. измерительный трансформатор T_2 с вольтметром V_1 и шаровой разрядник. Соединение обмоток и присоединение нспытательной схемы к обмотке машины производят так же, как при нзмеренин сопротнвлення нзоляцин.

В связи с тем, что измеряют н нормируют действующие значения испытательных напряжений, а к изоляции прилагают поочередно все мгновенные значения напряжения, в том числе и амплитудные, то весьма существенно, чтобы форма крнвой напряження была практически синусондальной. Это достигается использованием трансформаторов, работающих прн нспытанни в ненасыщенной областн н без перегрузки емкостными токамн, протекающими через нзоляцию.

Для предотвращения приложения к изоляции чрезмерных амплитудных значений напряжения при нскажении формы его кривой применяют шаровые разрядникн. Расстояние между шарами устанавливают во время работы испытательной установки вхолостую таким, чтобы при синусоидальной форме кривой на экране осциллографа пробой происходил прн значеннн, превышающем испытательное напряженне на 5—6% (см. табл. IX.14). Для обеспечения синусоидальностн кривой напряжения нспытательный трансформатор

должен иметь запас по напряжению и мощности. Обычно требуемая номинальная мощность трансформатора

$$P = (0,5 - 1)\, U_{\text{исп}}, \qquad (V.2)$$

где $U_{\text{исп}}$ — испытательное напряжение.

В отдельных случаях для уменьшения нагрузки трансформатора параллельно емкости изоляции может быть подключена индуктивность.

Уменьшение искажений формы кривой обеспечивается также применением безындуктивных и ненасыщенных индуктивных регулировочных устройств РУ, включением испытательной схемы на линейное, а не на фазовое напряжение, включением активного сопротивления в цепь обмотки НН испытательного трансформатора. Напряжение при $U_{\text{исп}} \geqslant (1,5 - 2)$ *кв* следует измерять на стороне ВН испытательного трансформатора. Повышать испытательное напряжение нужно плавно, начиная со значения, не превышающего $\frac{1}{3}$ испытательного. Ступени изменения напряжения не должны превышать 5% испытательного, а время подъема напряжения от $\frac{1}{2} U_{\text{исп}}$ до $U_{\text{исп}}$ не должно быть меньше 10 *сек*.

Продолжительность испытания изоляции собранной обмотки при полном напряжении составляет 1 *мин*. При пооперационных испытаниях изоляции в процессе изготовления или ремонта машины время их проведения обычно меньше 1 *мин*. По истечении предусмотренного нормами времени испытания напряжение плавно снижают до $\frac{1}{3} U_{\text{исп}}$ и затем отключают.

Если ЭМ выполнена для работы при нескольких значениях напряжения, испытательное напряжение во всех случаях рассчитывают, исходя из наибольшего номинального напряжения, даже тогда, когда машина работает в установках более низкого напряжения. Это дает возможность своевременно обнаружить неисправность изоляции.

Изоляция считается выдержавшей испытание в том случае, когда не произошло ее пробоя в течение всего времени приложения напряжения. Перекрытия по поверхности изоляции обычно легко устраняют после очистки изоляции от пыли, грязи и пр.

В некоторых случаях при пуско-наладочных, ремонтных и других работах наряду с испытанием изоляции напряжением промышленной частоты проводят испытание выпрямленным повышенным напряжением. Измерение тока через изоляцию и сравнение его с данными предыдущих испытаний или данными измерений на аналогичных обмотках машины позволяют сделать некоторые выводы о состоянии

изоляции. Чаще всего этим испытаниям подвергают синхронные машины (СМ).

Приемо-сдаточные и профилактические испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты, равным 1000 *в*, могут во всех случаях быть заменены измерением одноминутного значения сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 2500 *в*.

Испытание междувитковой изоляции обмоток

Междувитковую изоляцию обмоток постоянного тока, как правило, не проверяют на собранных ЭМ (за исключением обмоток явнополюсных роторов СМ). Изоляция этих обмоток, как, впрочем, и всех остальных, проходит пооперационный контроль, который в данном случае должен быть особенно тщательным. В табл. V.2 приведены значения испытательного напряжения катушек (секций) до укладки в пазы (длительность испытаний составляла 10—15 *сек*).

Таблица V.2

Нормы испытаний витковой изоляции обмоток ЭМ
(по данным электромашиностроительных заводов)

Выполнение витковой изоляции	Испытательное напряжение промышленной частоты, *в/виток*
Обмотка, намотанная проводом:	
марка ПБО	150
марки ПБД, ПДА или ПСД	300
марка ПЭЛБО	400
марка ПБОО	700
Обмотка, намотанная проводом марок ПБД, ПСД, ПДА с дополнительной витковой изоляцией в виде прокладок из электрокартона или миканита, для изоляционных материалов:	
класс А	500
класс В	700
Обмотка, намотанная:	
голым проводом, изолированным одним слоем хлопчатобумажной ленты вполнахлеста	500
одним слоем микаленты вполнахлеста	800
одним слоем микаленты и одним слоем хлопчатобумажной ленты впритык	1000

Обмотки переменного тока (в том числе и якорные обмотки машин постоянного тока — МПТ) испытывают при работе машины вхолостую путем подведения или генерирования напряжения, чаще всего равного 1,3 $U_{ном}$, в течение 5 *мин* (для АД с фазовым ротором — при неподвижном роторе с разомкнутой обмоткой).

При испытании витковой изоляции обмоток как в процессе изготовления, так и на собранной машине используют высокочастотные и импульсные методы, позволяющие получать значительные напряжения на обмотках при небольших токах. Этот принцип положен в основу при изготовлении небольших переносных устройств для испытания витковый изоляции (например, СМ-1 и ЕЛ-1).

4. Испытание ЭМ при повышенной скорости вращения

Эти испытания, согласно ГОСТу 183—55, контрольные при выпуске машины; вне завода, как правило, они не проводятся. Однако иногда при капитальном ремонте на месте установки со сменой обмоток и бандажей вращающейся части машины может потребоваться такое испытание.

Получение необходимой при испытании повышенной скорости вращения чаще всего обеспечивается одним из следующих способов: 1) применением для привода самой испытуемой машины или вспомогательной машины, сочлененной непосредственно с валом первой; 2) использованием источника регулируемой или нерегулируемой переменной частоты для питания самой испытуемой или вспомогательной машины; 3) введением повышающего редуктора скорости с требуемым передаточным числом между испытуемой и вспомогательной машинами.

Скорость вращения измеряют дистанционными, вибрационными и другими стационарными тахометрами с крупной шкалой, хорошо различимой на безопасном расстоянии.

5. Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Тщательно измеренная величина сопротивления обмотки постоянному току позволяет выявить имеющиеся в ней дефекты (некачественные соединения, витковые замыкания, неправильное выполнение, ошибки в схеме соединения), судить о температуре обмотки, выбрать параметры настройки автоматических и ручных регуляторов возбуждения и скорости и т. п.

При измерении сопротивления особое значение имеет правильное определение температуры обмотки. Во время наиболее часто проводимого измерения сопротивления обмоток в практически холодном состоянии необходимо, чтобы температура обмоток отличалась от окружающей температуры не более чем на 3° С. Для этого, если машина перед измерением сопротивления находилась под нагрузкой, ее следует охлаждать в течение 5—20 *ч* в зависимости от выполне-

ння машнны (открытое, закрытое) н ее мощности. Термометры (желательно спнртовые) нли термодетекторы должны быть заложены в трехчетырех местах обмотки за 20—30 *мин* до начала нзмерення, так чтобы в момент измерения онн показывалн фактнческую температуру обмотки.

Приведение сопротивлення обмоткн к температуре 15° С (нли 20° С), условно прннятой за исходную температуру машины (для сравнения с даннымн другнх измерений), производится по формуле

$$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha (t_1 - t_0)}, \qquad (V.3)$$

где R_0 — сопротивление обмотки прн 15° С (20° С), *ом*; R_1 — измеренное сопротивленне обмотки, *ом*; t_1 — средняя температура обмотки прн измеренни, °С; t_0 — исходная температура, к которой приводится сопротнвление обмоткн — 15° С (20° С); α — температурный коэффнцнент сопротивлення проводника (для медн $\alpha = 0{,}004$, для алюминня $\alpha = 0{,}00385$ *град*$^{-1}$).

Часто нспользуют другое выраженне:

$$R_0 = R_1 \frac{\beta + t_0}{\beta + t_1}, \qquad (V.4)$$

где β — постоянная велнчнна (для медн $\beta = 235$, для алюмнния $\beta = 245$).

Для более точного определення сопротнвления пользуются формулами

$$\Delta R = R_1 \frac{t_1 - t_0}{\beta + t_1}; \qquad (V.5)$$

$$R_0 = R_1 - \Delta R. \qquad (V.6)$$

С точкн зрения обеспечення точности н удобства наиболее прнемлемо нзмерение сопротнвления обмоток по методу вольтметра — амперметра (рис. V.6). Особенно это относнтся к ннзкоомным обмоткам (до 1 *ом*) переменного, а также постоянного тока. Несмотря на высокую точность двойных мостов типа МТВ, МОД н др., онн громоздкн, требуют применения высокочувствительных (обычно зеркальных) гальванометров, поэтому пользование имн на монтажных площадках н в цехах крайне затруднено. Двойные мосты типа МТ-5 н МД-6 не во всех случаях обеспечнвают требуемую точность измерения.

Выпускаемые серийно отечественной промышленностью вольтметры н амперметры (мнллнвольтметры с шунтом) класса 0,5 н 0,2 вполне транспортабельны и прнспособлены к условням работы вне лабораторнн. Они обеспечивают измеренне сопротнвлення с точностью до 0,3 — 0,5%.

Чтобы паденне напряжения иа контактах токовой цепи ие отражалось на показаниях прибора, вольтметр следует подключать иепосредствеино на выводы обмотки. Во нзбежаиие заметного прогрева обмотки, вызывающего нзмеиение сопротивления, величииа тока не должиа превышать 20% иоминального.

Величина сопротивления определяется как среднее иескольких (не меиее трех) зиачеиий, получеиных при измереиии тока и напряжения.

Если сопротивление вольтметра сравнительио иевелико, возможна погрешиость измереиия за счет ответвлеиия в него части тока, которая легко учитывается выражеиием

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_в}} \, [ом], \qquad (V.7)$$

где $R_в$ — сопротивлеиие вольтметра, *ом*.

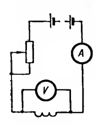


Рис. V.6. Схема измерения сопротивления по методу вольтметра-амперметра.

Для удобства одиовремеиного отсчета оба прибора следует располагать рядом. На время размыкаиия и замыкания токовой цепн вольтметр нужно отсоедииять во избежаиие повреждения его переиапряжеииями, возникающими в обмотках за счет нндуктивности. Вольтметр в иекоторых случаях присоедиияют к обмотке (или ее части) с помощью стальных игл.

В качестве источиика тока следует использовать хорошо заряжеиную аккумуляториую батарею. Могут быть примеиеиы приборы любой системы, допускающей измереиие иа постояином токе. Еслн источииком будет служить генератор постояииого тока, форма кривой напряжения которого нскажается коллектором, допустимо примеиеиие рабочих прнборов только магиитоэлектрической системы, ие реагирующих на периодическне составляющие тока и иапряжеиия.

При измерсиии сопротивлений больше 1 *ом* иеобходимую точиость обеспечивает метод одииариого моста. Сопротивление соедиинтельных проводов, влияющее иа результаты измереиия, может быть легко учтено расчетом илн предварительным нзмереиием. При пользованин мостом следует нметь в виду, что во избежаиие повреждения гальваиометр следует включать через иекоторое время после замыкаиия токовой цепи (когда ток устаиовится) и отключать до размыкаиия.

Метод логометра (омметра) при нспытаииях машии не примеиим, так как характернзуется очень иизкой точиостью. Он может быть нспользован только для орнеитировочиых предварительных измереинй.

6. Определение характеристики холостого хода

Характеристикой холостого хода (XXX) называют зависимость напряжения на выводах ненагруженного якоря $U_я$ от тока в обмотке возбуждения $I_в$ при вращении машины с постоянной скоростью n (обычно номинальной) в генераторном режиме, т. е. $U_я = f(I_в)$ при $I_я = 0$ и $n = \text{const} = n_{ном}$.

По существу, XXX, являющиеся кривыми намагничивания МПТ и СМ, снимают для сравнения формы кривой, полученной опытным путем, с расчетной, выявления витковых замыканий и прочих отклонений в обмотках возбуждения, получения необходимых данных для определения основных параметров машины и др.

В процессе снятия XXX, как правило, испытывают междувитковую изоляцию якорных обмоток. Для снятия XXX двигателей они приводятся во вращение от вспомогательной машины, номинальная мощность которой должна быть достаточной для покрытия потерь холостого хода при максимальном возбуждении. Допускается снятие XXX при скорости вращения машины n, не равной номинальной; при этом для получения действительной характеристики напряжение рассчитывают по формуле

$$U_д = U_0 \frac{n_{ном}}{n}, \qquad (V.8)$$

где $U_д$ и U_0 — напряжение соответственно действительной характеристики и характеристики, снятой при опыте.

Ток изменяют с помощью регулировочного реостата в цепи обмотки возбуждения испытуемой машины или ее возбудителя. Изменять ток нужно плавно, небольшими ступенями и только в одном направлении — либо увеличивать, либо уменьшать, иначе за счет гистерезиса характеристика окажется искаженной. Измерения производят вольтметром и амперметром (с шунтом) класса не менее 0,5. Приборы, как правило, устанавливают рядом друг с другом у места измерения тока, так как длина проводников, соединяющих шунт с амперметром, ограничена. Шунт врезают в такой точке цепи возбуждения, чтобы результаты измерения не были искажены токами параллельных цепей. Отсчет осуществляется одновременно по обоим приборам при установившихся показаниях. Для измерения величины остаточного напряжения цепь возбуждения разрывают.

Показания записывают в делениях шкалы приборов, умножают на цену деления при обработке и построении характеристики сразу же после снятия ее, до разборки схемы.

При построении характеристики отношение масштабов напряжения и тока должно быть примерно 2 : 1. XXX часто строят в отно-

Таблица V.3

Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости

Обозначение класса изоляции по нагревостойкости *		Температура, характеризующая нагревостойкость материалов данного класса, °С	Краткая характеристика
ГОСТ 8865—58	Старое обозначение		
Y	*O*	90	Не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов
A	*A*	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов
E	*AB*	120	Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы
B	*B*	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов
F	*BC*	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связывающими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов
H	*CB*	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связывающими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов
C	*C*	> 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связывающих составов или с неорганическими или элементоорганическими связывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов

* Согласно ГОСТу 8865—58, нагревостойкостью электроизоляционного материала называется способность материала выполнять свои функции при воздействии рабочей температуры в течение времени, сравнимого с расчетным сроком нормальной эксплуатации электрооборудования.

сительных единицах; за единицу напряжения принимают номинальное его значение, а за единицу тока возбуждения — величину, соответствующую номинальному напряжению при холостом ходе.

7. Испытание ЭМ на нагрев

Целью испытания ЭМ на нагрев является определение допустимых или установление номинальных нагрузок рабочих обмоток и сердечников для обеспечения нормальных условий работы изоляции.

Изоляция обмоток представляет собой наиболее уязвимую по нагреву часть ЭМ, поскольку сами обмотки, выполненные из меди (или из алюминия), а также сердечники, выполненные из железа, допускают значительно более высокие температуры. Повышение температуры изоляции сверх допустимой, если и не приводит к быстрому ее разрушению и пробою, то ускоряет старение и сокращает срок ее службы (табл. V.3).

В ЭМ используют преимущественно изоляционные материалы классов А и В, которые, согласно ГОСТ 183—55, определяют следующим образом.

Изоляционными материалами класса *A* называют материалы органического происхождения: шелк, бумага, хлопок и др., пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик, а также пластические массы с органическим заполнением и состав, именуемый «эмалью», применяемый для проводников.

В класс В включены изоляционные материалы неорганического происхождения: слюда, асбест, стеклянное волокно и т. п. с добавлением связующих веществ (может быть применен изоляционный материал класса А с общим содержанием органических веществ до 50% по весу). Для изоляционных материалов класса В допустимые температуры выше, чем для класса А.

При испытаниях на нагрев измеряют температуру всех активных частей ЭМ и охлаждающей среды, а также токи и напряжение обмоток.

Измерение температуры

ГОСТ 183—55 предусматривает четыре метода измерения температур электрических машин: 1) термометра; 2) сопротивления; 3) заложенных температурных детекторов; 4) встраиваемых температурных детекторов.

Метод термометра. Измерение температуры по этому методу дает представление о нагреве той точки, где приложен термометр. Это, как правило, наименее нагретая часть машины, находящаяся на поверхности, а потому удобная для измерения. Допустимые

температуры при измерении по этому методу всегда ниже температур, полученных другим путем.

Данный метод предусматривает измерение температуры термометрами расширения (ртутными, спиртовыми), а также незаложенными термопарами н термометрами сопротивления.

Балончик термометра расширения, горячий спай термопары либо термометр сопротивления прикладывают к нужной точке машины и изолируют от окружающей среды теплоизоляционным материалом (ватой и т. п.). Отсчет температуры производят с учетом инерционности термометра.

С помощью термометров обычно измеряют температуру охлаждающей среды. При этом, еслн для вентиляции машины служит окружающий воздух, термометры устанавливают в нескольких точках вокруг машины на расстоянии 1—2 *м* на уровне оси машины. Когда машина оборудована воздуховодами горячего и холодного воздуха (или газа), температуру нзмеряют несколькими термометрами, устанавливаемыми возле всех входных н выходных патрубков машины. Так как температуру входящего в машину охлаждающего воздуха следует измерять особенно тщательно, применяемые для этой цели термометры должны быть с ценой деления 0,1—0,2°С. Устанавливаемые у входа н выхода нз машины охлаждающего воздуха (газа) термометры должны быть хорошо уплотнены во избежание утечек воздуха.

Следует отметить, что применение ртутных термометров в местах, где имеются переменные магнитные поля, не желательно, так как возможны существенные ошибкн нзмерения.

Метод сопротивления основан на том, что существует строгая зависимость между сопротивлением проводника, измеренным на постоянном токе, и его средней температурой.

Температура $t_г$ проводника (обмотки) при известном сопротивлении его в горячем $R_г$ и практически холодном $R_х$ состоянии может быть определена из таких выражений:
для меди

$$t_г = \frac{R_г - R_х}{R_х}(235 + t_х) + t_х; \qquad (V.9)$$

для алюминия

$$t_г = \frac{R_г - R_х}{R_х}(245 + t_х) + t_х, \qquad (V.10)$$

где $t_х$ — температура проводника при определении $R_х$, С°.

По данному методу можно определить среднюю температуру проводника обмотки и, в большинстве случаев, получить более полную картину ее нагрева. Для обмоток постоянного тока как не-

подвижных, так и вращающихся этим методом пользуются при измерении температуры работающей машины. Для обмоток переменного тока пользоваться методом можно только после снятия с них переменного напряжения. Сопротивление в обоих случаях измеряют методом вольтметра — амперметра. Для обмоток переменного тока иногда используют метод моста (чаще всего двойного). Сопротивление обмотки в холодном и горячем состоянии необходимо измерять одними и теми же приборами, так как это обеспечивает требуемую точность определения температуры.

Если сопротивление обмоток переменного тока измеряют после снятия напряжения, но без остановки машины, для устранения влияния остаточных переменных напряжений применяют устройства размагничивания, индуктивно-емкостные фильтры и измерительные приборы магнитоэлектрической системы.

Метод заложенных температурных детекторов. При изготовлении ЭМ некоторых типов и габаритов (турбо- и гидрогенераторов, синхронных компенсаторов, крупных АД и др.) ГОСТами и техническими условиями предусматривается заложение температурных детекторов (термопар или термометров сопротивления) для контроля за нагревом машины в процессе ее эксплуатации. Термодетекторы закладывают в таких точках машины, где ожидается наибольший нагрев обмоток и активной стали. Эти точки обычно недоступны для осмотра после изготовления машины.

Согласно ГОСТу 183—55, в машину закладывают не меньше шести детекторов — три для измерения температуры обмотки и три для измерения температуры активной стали. Детекторы, расположенные равномерно по окружности машины, должны соприкасаться с измеряемой поверхностью и быть надежно защищены от воздействия охлаждающей среды.

Если в качестве термодетекторов применены термопары, все отмеченное выше относится к их горячим спаям; холодные спаи термопар располагают в месте входа в машину холодного воздуха (газа). Измеряемая э. д. с. пропорциональна превышению температуры обмотки или стали машины над температурой воздуха.

Для контроля за нагревом машины в процессе эксплуатации применяют либо милливольтметры (с термопарами), либо логометры (с термометрами сопротивления). При испытаниях на нагрев для получения точных данных измерений в первом случае используют переносные потенциометры (типа ПП или КП-59) или образцовые милливольтметры, во втором — лабораторные одинарные мосты.

В некоторых случаях при отсутствии данных о характеристике заложенных термопар их можно получить обычным порядком с помощью термостата и переносного потенциометра, исследуя извлеченный из машины небольшой кусок термопары.

Метод встраиваемых температурных детекторов. В отличие от предыдущего метода здесь термодетекторы устанавливают на машине после ее изготовления только на время проведения испытания.

На обмотках термодетекторы встраивают в лобовые или пазовые части в таких доступных точках, где ожидают наибольшие температуры. В лобовых частях проволочных обмоток термодетектор может быть встроен между проводами при условии, что напряжение по отношению к корпусу в данной точке невелико. Чаще всего выбирают точку, близкую к нулевой, которую заземляют наглухо или через пробивной предохранитель. У машин с жесткими или запеченными секциями термодетекторы устанавливают у поверхности изоляции на лобовой части или под клином в пазу. В активной стали термодетекторы встраивают между отдельными листами на глубине не меньше 5 *мм*. Чтобы не повредить изоляцию, листы осторожно разводят ножом или отверткой, вводя между ними термодетектор. После удаления ножа термодетектор оказывается зажатым. Встраиваемый термодетектор надежно укрепляют шпагатом или киперной лентой и изолируют на всем протяжении в наиболее опасных местах. Место измерения температуры, кроме того, покрывают тепловой изоляцией.

Определение превышения температуры частей машины

ГОСТ 183—55, а также ГОСТы на отдельные виды ЭМ устанавливают предельно допустимое превышение температуры частей машин над температурой охлаждающей среды. Под превышением температуры какой-либо части электрической машины над температурой охлаждающей среды $t_{ох}$ понимается разность

$$\nu = t_{м} - t_{ох}, \qquad (V.11)$$

где $t_{м}$ — температура данной части ЭМ, измеренная одним из приведенных выше методов. Обычно температура охлаждающей среды при допустимом превышении составляет 35° С (ГОСТ 183—55), а для синхронных генераторов и компенсаторов 40° С (ГОСТ 533—51, 5616—50 и 609—54).

Пользуясь понятием «превышение температуры», можно сравнивать результаты, полученные при разных значениях температуры охлаждающего воздуха.

Предельно допустимое превышение температуры $\nu_{д}$ ЭМ при отклонении температуры охлаждающей среды от 35° С, согласно ГОСТу 183—55, изменяется следующим образом.

1. Если температура охлаждающей среды лежит в пределах 35—25° С (за исключением машин с изоляцией класса *А*) и 35—45° С, величина $\nu_{д}$ может быть изменена таким образом, чтобы сумма $\nu_{д} + t_{ох}$ осталась неизменной.

2. Для машин с изоляцией класса A при уменьшении температуры охлаждающей среды ниже 35° С допустимое превышение температуры частей машины остается таким же, как и при 35° С.

Предельно допустимое превышение температуры зависит от высоты установки машины над уровнем моря. Указанные в ГОСТах значения относятся к высоте до 1000 *м*. На высоте от 1000 до 3000 *м* повышение уровня на каждые 200 *м* должно сопровождаться снижением предельно допустимых превышений температуры на 1° С при условии, что температура окружающей среды не выше 35° С.

В некоторых случаях при испытаниях на нагрев, кроме превышения температуры частей ЭМ, измеряют превышение температуры выходящего из машины охлаждающего воздуха над входящим. Это дает возможность определить к. п. д. машины при нагрузке данного опыта и судить о ее тепловом состоянии, хотя эти превышения и не нормируются. Для СМ величина превышения обычно составляет не больше 30° С. Превышение температуры выходящего из машины воздуха используют при проверочных расчетах вентиляции машины.

Испытание машин, предназначенных для продолжительной работы в номинальном режиме

При испытании на нагрев таких машин проводят несколько опытов (обычно четыре) при нагрузках, близких к 60; 75; 90 и 100% номинальной. Если имеется предположение (возникшее на основании результатов опытов), что номинальная мощность машины может быть повышена, проводят дополнительные опыты при бо́льших нагрузках. Измерения, принимаемые за основу при подсчете превышения температуры, производят при установившемся электрическом и тепловом режиме машины. Под практически установившейся температурой понимают температуру какой-либо части машины, изменение которой в течение 1 *ч* не превышает 1° С при условии, что нагрузка машины и температура охлаждающей среды остаются неизменными (ГОСТ 183—55).

Для обеспечения установившегося электрического режима необходимо тщательно следить за напряжением и током якоря и скоростью вращения машины и достаточно быстро устранять появляющиеся отклонения, воздействуя на источник напряжения (для двигателей), первичный двигатель (для генераторов) и возбуждение. В случае необходимости автоматические регуляторы машин должны быть отключены на время проведения испытаний.

Постоянство температуры охлаждающей среды может быть обеспечено регулированием ее охлаждения (для машин с замкнутой системой вентиляции), устранением беспорядочного обмена воздуха в помещении, где установлена машина, выбором соответствующего времени суток для проведения испытаний и т. п.

Когда режнм работы машиины устаиовлеи, записывают зиаченне токов и напряжеиий всех обмоток, а также значеиия температуры, которая может быть нзмереиа без снятня иапряжения с машины. Запись пронзводят в теченне часа с ннтервалом в полчаса (реже 15 *мин*). Затем с обмоток машнны снимают напряжение н, еслн ие могут быть осуществлены необходимые измерения нли если это не требует больших затрат времени, машину останавливают. После этого измеряют температуру тех частей машины, которые не могли быть проверены в процессе опыта.

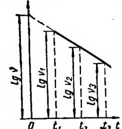


Рис. V.7. Экстраполяция превышения температуры ν на момент отключения.

В случае, когда температура нзмерена через 15—20 *сек* после снятня тока и напряжения, результаты измерений прииимают за фактическую температуру частей машины, в противном случае вносят поправку. Для этого через иекоторые промежутки времеии пронзводят несколько измеренний температуры той нлн нной части машны н охлаждающей среды н находят завнснмость $\lg \nu = f(t)$. Затем путем экстраполяции определяют превышеиие температуры в момеит начала снятия тока и напряжеиня (рис. V, 7). Применеине логарифмической зависимости упрощает построение и экстраполяцию кривой, поскольку последняя в этом случае прямолиииейна.

Когда после остановкн машины температура отдельиой ее части сиачала возрастает (за счет нагрева от более горячих частей), а затем поннжается, за температуру, соответствующую моменту отключения машины, следует принимать наибольшую нз нзмереииых температур (ГОСТ 183—55).

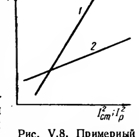


Рис. V.8. Примериый вид кривых зависимости $\nu = f(I^2)$: $I_{ст}$ — ток статора; $I_р$ — ток ротора.

Для быстрого измерення температуры иескольких частей машины после отключения или остановки ее требуются определеииые навыки и достаточное количество работииков, занятых измереннями.

После обработкн результатов нзмерений всех опытов строят кривые завнснмостн превышения температуры обмоток ротора *1* н статора *2* (и их сердечииков) от квадрата тока I в иих (рис. V, 8). Этн кривые дают возможность проверить правильиость полученных результатов по характеру распределення точек на крнвой, определить ток, соответствующий предельно допустимому превышению температуры, и путем экстраполяции предопределить до-

пустнмое повышенне номннальной мощностн машины, еслн оно возможно.

Испытание на нагрев машнн, предназначенных для продолжительного режнма работы, чаще всего пронзводят прн непосредственной нх нагрузке. При этом генераторы нагружают лнбо на общую сеть параллельно с другимн генераторами, лнбо на отдельную регулируемую нагрузку (тнпа водяного реостата), лнбо на то н другое вместе.

В отдельных случаях прнменяют нскусственную нагрузку типа взаимной, когда испытуемый генератор нагружают такой же илн большей по мощностн машнной с потребленнем ими небольшой мощности, ндущей на покрытие потерь. Непосредственная нагрузка двигателей затруднена, поскольку, как правило, ее сложно поддерживать постоянной, н двигателн чаще всего нспытывают на нагрев в генераторном режнме.

Иногда применяют косвенный метод нспытаний на нагрев, при котором машину нагревают в нескольких режимах холостого хода и к. з., а температуру отдельных ее частей рассчитывают по результатам этнх нспытаннй.

Испытание машин, предназначенных для кратковременного и повторно-кратковременного номинального режима работы

Испытание на нагрев машнн, предназначенных для кратковременного номинального режнма работы, характернзующегося настолько малым временем работы, что температура частей машнны не достигает установившихся значений, и настолько длнтельными остановками, что машина приходит в практически холодное состоянне, пронзводят в течение временн, которое указано на заводском щитке. Нормальная длительность кратковременного номинального режнма, устанавлнваемая ГОСТом 183—55, составляет 15; 30; 60 н 90 *мин*. В начале нспытання машнна должна находиться в холодном состояннн. Нагрузка машины в процессе испытаний должна поддерживаться неизменной с помощью РУ, позволяющих быстро н плавно ликвидировать отклонення от заданного режнма. Температуру следует измерять в конце рабочего пернода, однако в процессе нспытаний желательно ее контролнровать.

Под повторно-кратковременным номннальным режимом работы ЭМ понимается такой режнм, прн котором кратковременная работа машнны чередуется с кратковременнымн отключеннямн; прн этом ни прн работе, ни прн отключении не достнгаются установившиеся значения температур частей машины. Отношение длнтельностн работы машнны к длительностн полного цикла называют продолжительностью включення (ПВ). Согласно ГОСТу 183—55, ПВ может со-

ставлять 15; 25; 40 и 60%. Продолжительность одного цикла не превышает 10 *мин*.

Такие машины испытывают на нагрев в режиме повторно-кратковременной нагрузки с постоянной ее величиной в рабочем периоде и с ПВ, указанным на паспортном щитке машины. Длительность цикла при испытаниях устанавливают равной 10 *мин*. Температура частей машины, контролируемая в конце рабочего периода и паузы, считается практически повторяющейся, если в течение часа соответствующие температуры не будут отличаться друг от друга более чем 1° С. Во время пауз машину отключают от сети. Но она может продолжать вращаться (для генераторов), и возбуждение может оставаться включенным, если предусмотрен такой режим работы.

Температуру измеряют после установления практически повторяющейся температуры частей машины по истечении половины времени последнего периода работы. Для ускорения нагрева машины первые несколько циклов работы можно проводить без пауз.

В некоторых случаях испытание на нагрев при повторно-кратковременном режиме работы можно заменить испытанием при эквивалентном по нагреву продолжительном режиме.

Предельно допустимое превышение температуры частей машин с кратковременным номинальным режимом работы выше соответствующих значений машин с продолжительным режимом на 15° С при измерении по методу сопротивления и на 10° С при измерении по методу термометра. У машин с повторно-кратковременным номинальным режимом работы допустимое превышение температуры такое же, как у машин с продолжительным номинальным режимом.

8. Определение потерь и к. п. д. ЭМ

Потери мощности и к. п. д. ЭМ определяют при типовых испытаниях на заводе-изготовителе (ГОСТ 183—55).

В программу приемно-сдаточных и профилактических испытаний не входит определение потерь мощности и к. п. д.; на месте установки такие испытания машины проводят редко. Обычно это имеет место при послеремонтных испытаниях машин, а также при испытаниях, связанных с определением технико-экономических показателей установки в целом.

К. п. д. электрической машины называют отношение полезной активной мощности, отдаваемой ею, P_2 к мощности, подводимой (потребляемой), P_1, а потерями мощности $\Sigma\Delta P$ — разность этих величин:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_1 - \Sigma\Delta P}{P_1} 100 \ [\%]; \qquad (V.12)$$

$$\Sigma\Delta P = P_1 - P_2. \qquad (V.13)$$

Сложность определения к. п. д. заключается в том, что механическая мощность, подводимая к генератору и отдаваемая двигателем, практически не поддается точному измерению.

При определении к. п. д. машина должна быть полностью исправна и обкатана, а при испытаниях на месте установки — находиться в обычном рабочем состоянии.

Методы непосредственного определения к. п. д.

Эти методы менее точны, чем косвенные. При заводских испытаниях они применяются для машин, имеющих к. п. д. 50% и меньше. Однако они с успехом используются при испытаниях электромашинных агрегатов на месте их установки.

Метод измерения мощности (метод двигателя — генератора) заключается в том, что две одинаковые электрические машины, потери и к. п. д. которых равны, соединяют друг с другом и приводят во вращение — одну в режиме двигателя, другую в режиме генератора.

Потребляемую двигателем $P_{1д}$ и отдаваемую генератором $P_{2г}$ мощности измеряют электрическими приборами, а к. п. д. и потери одной машины определяют по формулам

$$\eta = \sqrt{\frac{P_{1д}}{P_{2г}}}\,100\,[\%], \qquad (V.14)$$

$$\Sigma\Delta P = \frac{P_{1д} - P_{2г}}{2} \qquad (V.15)$$

на основании того, что общий к. п. д. двух последовательно соединенных машин равен произведению к. п. д. каждой из них.

Метод торможения специальным тормозным устройством позволяет измерить вращающий момент на валу машины. Его применяют при испытании в режиме двигателя. Потребляемую мощность измеряют электрическими приборами, а отдаваемую определяют как величину, пропорциональную произведению скорости вращения на вращающий момент.

Метод нагрузки (метод тарированных ЭМ) заключается в том, что подводимую к испытуемому генератору или отдаваемую испытуемым двигателем мощность измеряют электрическими приборами на тарированных вспомогательных соответственно двигателе или генераторе. При тарировке вспомогательных машин точно определяют их потери $\Delta P_т$ при всех нагрузках, что дает возможность учитывать их при определении к. п. д. и потерь испытуемых машин:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 - \Delta P_т}\,100\,[\%]; \qquad (V.16)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 - \Delta P_т. \qquad (V.17)$$

Методы косвенного определения к. п. д.

Эти методы применяют для машин, к. п. д. которых превышает 50%. Из предусмотренных ГОСТом 183—55 двух методов косвенного определения к. п. д. и потерь ЭМ — метода взаимной нагрузки и метода отдельных потерь первый, требующий сравнительно сложной аппаратуры, мало применяют в заводской практике, а при испытаниях машин на месте их установки практически вообще не применяют. В связи с этим ниже будет рассмотрен только метод отдельных потерь.

По методу отдельных потерь общие потери электрической машины определяют как сумму следующих отдельно определенных или рассчитанных потерь: а) в стали $\Delta P_{ст}$; б) механических (на трение всех видов) $\Delta P_{мех}$; в) основных в цепях рабочих обмоток машины $\Delta P_{м}$; г) в переходных контактах щеток $\Delta P_{щ}$; д) на возбуждение $\Delta P_{воз}$; е) добавочных $\Delta P_{д}$,

$$\Sigma\Delta P = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{м} + \Delta P_{щ} + \Delta P_{воз} + \Delta P_{д}. \qquad (V.18)$$

Методы определения отдельных потерь, предусмотренные ГОСТом 183—55, приведены в соответствующих главах. Кроме этих методов, при испытаниях на месте установки машин с развитой системой вентиляции, замкнутой или разомкнутой, удовлетворительные результаты могут быть получены при определении отдельных потерь по теплу, уносимому охлаждающим воздухом (газом) и рассеиваемому корпусом, так как электрическая и механическая энергия, теряемая в ЭМ, превращаются в тепловую.

Количество уносимого тепла определяют с помощью термометров, установленных на входе и выходе из машины охлаждающего воздуха (газа). Расход воздуха (газа) измеряют одним из приведенных в гл. II способов.

Потери в машине при установившемся режиме определяются как

$$\Sigma\Delta P' = P_{в} + P_{к}. \qquad (V.19)$$

Здесь $P_{в}$ — мощность, уносимая охлаждающим воздухом,

$$\Delta P_{в} = 4{,}17 Qc\gamma\,(t_{г} - t_{х}) \quad [квт], \qquad (V.20)$$

или

$$\Delta P_{в} \simeq 1{,}1 Q\,(t_{г} - t_{х})\,[квт]; \qquad (V.21)$$

$\Delta P_{к}$ — мощность, рассеиваемая корпусом машины,

$$\Delta P_{к} \simeq \frac{S(t_{к} - t_{0})}{100} \quad [квт], \qquad (V.22)$$

где Q — расход охлаждающего воздуха, *м³/сек*; c — теплоемкость воздуха, равная 0,238 *ккал/кг · град*; γ — плотность воздуха при

атмосферном давлении 760 *мм рт. ст.* и средней температуре воздуха 50° С, γ — 1,093 *кг/м³*; S — поверхность корпуса, *м²*; $t_г$ и $t_х$ — температура соответственно выходящего и входящего в машину охлаждающего воздуха, °С; $t_к$ и t_0 — температура соответственно корпуса и окружающего воздуха, °С.

Для определения отдельных потерь по этому методу проводят три опыта в таких режимах работы машины: 1) холостого хода без возбуждения; 2) холостого хода с возбуждением, соответствующим номинальному напряжению якорной обмотки (номинальному результирующему потоку в стали); 3) короткого замыкания при номинальном токе якоря.

При этом поддерживается постоянная (номинальная) скорость вращения ротора, приборами класса 0,5 контролируется ток в обмотках и напряжение на выводах якоря, измеряется температура активных частей машины, охлаждающего воздуха и корпуса. Измерения, по которым определяют потери, должны производиться при установившемся тепловом режиме машины через 2—3 *ч* после начала опыта. Превышение температуры активных частей обмоток и охлаждающего воздуха, измеренные через 15 *мин* (три-четыре измерения), не должны отличаться друг от друга более чем на 1° С.

Если температура активных частей машины не может быть измерена в процессе проведения опыта, ее измеряют после снятия возбуждения или остановки машины.

Потери, определенные по формуле (V.19) по данным опыта холостого хода без возбуждения, представляют собой потери на вентиляцию $\Delta P_{вент}$:

$$\Delta P_{хх} = \Delta P_{вент}. \qquad (V.22, a)$$

При опыте холостого хода с возбуждением измеряют сумму потерь на вентиляцию $\Delta P_{вент}$, в стали $\Delta P_{ст}$ и на возбуждение при данном режиме $\Delta P_{воз.\,хх}$. Так как последние могут быть рассчитаны из выражения

$$\Delta P_{воз.\,хх} = I^2_{воз\ хх} R_{вt} 10^{-3}\ [квт], \qquad (V.23)$$

где $I_{воз.\,хх}$ — ток возбуждения при опыте; $R_{вt}$ — сопротивление обмотки возбуждения, приведенное к температуре опыта, то опыт дает возможность определить потери в стали, поскольку потери на вентиляцию определены из предыдущего опыта:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{хх.\,в} - \Delta P_{хх} - \Delta P_{воз\ хх}. \qquad (V.24)$$

Наконец, опыт короткого замыкания позволяет измерить сумму потерь $\Delta P_{кз}$ на вентиляцию $\Delta P_{вент}$, в обмотках возбуждения и якоря при опыте $\Delta P_{воз.\,кз}$ и $\Delta P_{я\ кз}$ и добавочные потери в якоре $\Delta P_{д}$.

Рассчитав потери в обмотках возбуждения и якоря аналогично (V.23), получим

$$\Delta P_{\text{воз. кз}} = I^2_{\text{воз. кз}} R_{\text{в}t} 10^{-3} \, [\textit{квт}]; \quad \text{(V.25)}$$

$$\Delta P_{\text{я. кз}} = n I^2_{\text{я}} R_{\text{я} \, t} \, 10^{-3} \, [\textit{квт}], \quad \text{(V.26)}$$

где n — число фаз якорной обмотки.

Добавочные потери в якоре

$$\Delta P_{\text{д}} = \Delta P_{\text{кз}} - \Delta P_{\text{воз. кз}} - \Delta P_{\text{я. кз}} - \Delta P_{\text{хх}}. \quad \text{(V.27)}$$

Таким образом, указанные опыты позволяют определить следующие потери: 1) вентиляционные, представляющие собой основную часть механических потерь; для определения последних, как правило, достаточно учесть потери в подшипниках (обычно они принимаются равными 0,5—0,6% мощности машины или определяются по нагреву масла); 2) в стали; 3) добавочные.

Основные потери в рабочих обмотках машин, включая и потери в обмотках возбуждения, определяют как

$$\Delta P_{\text{обм}} = n I^2_{\text{ном}} R_{\text{обм.} \, t} 10^{-3} \, [\textit{квт}], \quad \text{(V.28)}$$

где n число фаз (иногда ветвей) обмотки; $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток обмотки (если потери определяют не для номинального режима, то в выражение (V.28) подставляют соответствующее значение тока); $R_{\text{обм.} \, t}$ — сопротивление обмотки, приведенное к температуре ее при номинальном режиме.

Потери в щетках определяют при номинальном токе соответствующей обмотки как произведение тока на падение напряжения на них. Температура щеток должна быть близкой к нормальной.

Этот метод может быть применен и для непосредственного определения потерь и к. п. д. при работе ЭМ в номинальном и других режимах. Потери, определенные по выражению (V.19), сложенные с потерями в подшипниках, и в этом случае будут равны потерям при соответствующем режиме.

Согласно ГОСТу 183—55, при заводских определениях к. п. д. к потерям электрической машины относят также: а) потери в регулировочных реостатах, в постоянно включенных нерегулируемых сопротивлениях, в реактивных катушках и тому подобных вспомогательных приборах и аппаратах, необходимых для работы машины в номинальном режиме; б) потери в возбудителе, подвозбудителе, пусковом электродвигателе и других вспомогательных электромашинах, если они приводятся в движение от вала испытуемой машины; в) потери во всех подшипниках, поставляемых с машиной; г) потери в вентиляторе, в водяном и масляном насосах, если они приводятся во вращение от вала испытуемой машины.

9. Измерение вибрации

Вибрацию ЭМ принято измерять на всех подшипниках. Она измеряется в горизонтально-поперечном — перпендикулярно оси вала (рис. V. 9, *а*), горизонтально-продольном (рис. V. 9, *б*) и вертикальном направлениях (рис. V. 9, *в*). В двух первых направлениях обычно вибрацию измеряют на уровне оси вала, а в вертикальном направлении — на крышке подшипника. Место измерения вибрации выбирают с учетом удобства крепления виброметра.

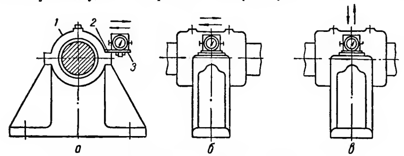


Рис. V.9. Схемы установки виброметра на подшипнике:
1 — подшипник; *2* — крепежная пластинка; *3* — виброметр.

Когда возникают сомнения в нормальной работе машины, вибрацию измеряют в двух или нескольких точках каждого подшипника; при этом за фактическую величину вибрации принимают максимальные измерения в каждом направлении.

Проверяют вибрацию, как правило, при нескольких значениях нагрузки ЭМ: при холостом ходе, 50; 70 и 100% номинальной скорости и при номинальной и максимально допустимой скорости вращения. Величина вибрации по данным предприятий приведена в табл. V.4.

Таблица V.4

Допустимая величина вибрации электрических машин

Скорость вращения, *об/мин*	Вибрация (удвоенная амплитуда колебаний), *мм*, по данным			
	завода «Электросила»	ХЭМЗа	ПУЭ	Ленэнерго
3000	0,05	0,05	0,06	0,07
1500	0,09	0,10	0,10	0,10
1000	0,10	0,15	—	0,10
750	0,12	—	—	0,10
600	0,14	—	—	0,15
500	0,16	—	—	0,15

10. Определение механических характеристик ЭМ

Механнческие характеристикн ЭМ — механическая постоянная времени $T_{мех}$, момент инерцнн J или маховой момент GD^2, зависимость вращающего, тормозного н избыточного момента, а также момента сопротивления приводимого механизма от времени и др. — весьма существенны при расчете переходных процессов в машинах. Данные о поведении машнн прн пуске н остановке, торможении н реверсировании, перегрузках и аварийный режимах, связанных со снижением напряжения и частоты в системе, необходимы для выбора настроек автоматических устройств и релейных защит, определения времени пуска торможения н реверсирования двигателей и др. Ниже приводятся некоторые методы определения механических характеристик машин на месте нх установки.

Маховый момент

Наибольшее распространение получил метод определения махового момента ЭМ при ее самоторможении.

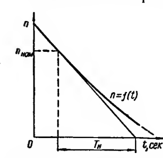


Рис. V.10. Определение механической постоянной времени ЭМ по кривой выбега.

Электрическую машину вращают в режиме ненагруженного двигателя (скорость вращения желательно поднять выше номинальной на 5 — 10%), затем машину отключают н за счет потерь (механических и в активной стали) начинается торможение. С интервалом 5—10 *сек* записывают скорость и время, исчисляемое с момента отключения машины. Запись зависимости $n = f(t)$ лучше осуществлять с помощью осциллографа и тахогенератора; иногда для этой цели применяют фотографирование показаний секундомера н дистанционного тахометра через определенные промежутки времени. Полученная зависимость строится в виде кривой (рис. V.10), к которой в точке, соответствующей номинальной скорости вращения $n_{ном}$, проводится касательная до пересечения с осью абсцисс. Отрезок, находящийся на этой оси между абсциссой номинальной скорости н точкой пересечения с касательной, называют постоянной времени самоторможения $T_н$.

По полученным данным и измеренным ранее потерям ΔP прн номинальной скорости маховый момент может быть определен из выражения

$$GD^2 = \frac{365 \Delta P T_н}{n^2_{ном}} 10^3 \ [кг \cdot м^2]. \qquad (V.29)$$

Если машина тормозится без снятия возбуждения и при номинальной скорости имеет место номинальное напряжение на якоре (МПТ и СМ), $\Delta P = \Delta P_{мех} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{воз}$. При самоторможении без возбуждения (АД) $\Delta P = \Delta P_{мех}$ (на все виды трения).

Маховой момент ЭМ и первичного двигателя (агрегата) GD_a^2 может быть определен также методом разбега. Опыт проводится следующим образом. Агрегат при номинальной скорости вращения питает некоторую изолированную нагрузку; в установившемся режиме фиксируется подача движущего агента в первичный двигатель (заклинивается дроссельный клапан и т. п.). Затем толчком сбрасывается часть нагрузки P_1, и скорость вращения агрегата начинает повышаться; отмечается промежуток времени Δt, в течение которого скорость вращения повысится на величину Δn.

На основании полученных из опыта данных маховой момент

$$GD^2 = \frac{365 P_1 \Delta t}{n_{ном} \Delta n} 10^3 \ [кг \cdot м^2]. \tag{V.30}$$

Момент инерции и механическая постоянная времени

По известному маховому моменту момент инерции определяют как

$$J = \frac{GD^2}{4g} \ [кг \cdot м/сек^2], \tag{V.31}$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек*^{2}.

Механическая постоянная времени может быть определена непосредственно из опыта, так как она равна постоянной времени самоторможения:

$$T_{мех} = T_н. \tag{V.32}$$

Если маховой момент определен каким-либо другим способом или приняты каталожные данные, механическая постоянная времени

$$T_{мех} = \frac{GD^2 n_{ном}}{375 M_{ном}} \ [сек], \tag{V.33}$$

где $M_{ном}$ — номинальный вращающийся момент, *кг · м*, или

$$T_{мех} = \frac{GD^2 n^2_{ном}}{365 P_{ном}} 10^{-3} \ [сек], \tag{V.34}$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, *квт*.

Механическая характеристика электродвигателя

В некоторых случаях для решения вопроса о возможности запуска или самозапуска приводимого механизма с помощью исследуемого электродвигателя при номинальном или пониженном напря-

жении необходимо знать механическую характеристику: зависимость вращающего момента электродвигателя M от скорости вращения n или скольжения S при постоянном напряжении якоря и возбуждении.

Для заводских или лабораторных условий эту характеристику снимают по методу торможения с помощью специального тормозного устройства, выполняемого обычно на базе одной или двух МПТ. В пусковых или эксплуатационных условиях такой метод, как пра-

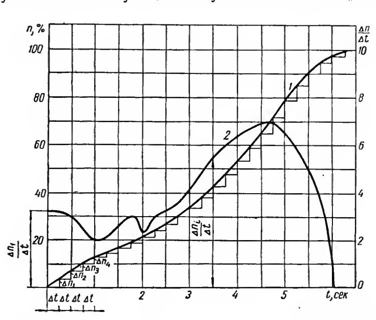


Рис. V.11. Построение механической характеристики двигателя.

вило, неприемлем. Механическая характеристика может быть получена путем построения на основании данных осциллографирования скорости при пуске двигателя вхолостую. При этом получают кривую зависимости скорости вращения от времени $n = f(t)$.

В основе построения механической характеристики лежит соотношение

$$M_{\text{вр}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}, \tag{V.35}$$

или приближенно

$$M_{\text{вр}} \approx \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \; [\text{кг} \cdot \text{м}]. \tag{V.36}$$

Разбнвая время пуска на интервалы длнтельностью Δt н определяя по кривой $n = f(t)$ соответствующне нм прнращення скоростн Δn, по (V.36) рассчитывают значення вращающего момента для конца каждого интервала нлн для скоростн вращения в данный момент времени. Все это ложнтся в основу построення механнческой характеристики $M = f(n)$.

На рис. V.11 прнведены снятая крнвая $n = f(t)$ (*1*) н построенная характеристика $\frac{\Delta n}{\Delta t} = f(t)$ (*2*).

Механическая характеристика приводимого механизма

Механическая характернстнка прнводнмого механнзма, т. е. зависимость его момента сопротивления M_c от скорости вращення $n\,[M_c = f(n)]$, может быть получена при осциллографнрованнн скорости вращения агрегата во время пуска.

Избыточный (динамическнй) ускоряющнй момент электропрнвода

$$M_{из} = M_{вр} - M_c = \frac{GD_а^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}, \qquad (V.37)$$

где $M_{вр}$ — вращающий момент двигателя, *кг · м*; $GD_а^2$ — маховый момент агрегата с нагрузкой нлн без нее, приведенной к валу электродвнгателя, *кг · м²*.

Согласно (V.37), для любого момента времени при пуске момент сопротнвлення приводнмого механнзма

$$M_c = M_{вр} - M_{из} = M_{вр} - \frac{GD_а^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}. \qquad (V.38)$$

Велнчину махового момента агрегата определяют по данным опыта самоторможення из равенства

$$GD_а^2 = \frac{365 T_н P_а}{n_{ном}^2} 10^3 \; [кг \cdot м^2], \qquad (V.39)$$

где $P_а$ — потребляемая электродвнгателем нз сетн при номннальной скорости мощность, измеряемая перед проведением опыта самоторможения.

С помощью осцнллографировання скорости вращення во время пуска агрегата получают графнческую завнсимость $n = f(t)$, на основанни которой по уравненню

$$M_{из} = \frac{GD_а^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \qquad (V.40)$$

строят крнвую завнснмости $M_{из} = f(n)$.

Нанеся на диаграмму кривые $M_{вр} = f(n)$ (*1*) и $M_{из} = f(n)$ (*3*) и вычитая ординаты при нескольких значениях скорости вращения n, получают механическую характеристику (*2*) приводимого механизма $M_с = f(n)$ (рис. V.12).

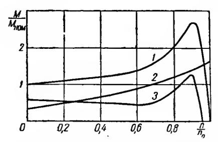


Рис. V.12. Построение механической характеристики приводимого механизма (n_0 — синхронная скорость вращения).

Начальный момент сопротивления механизма или агрегата в целом

Этот момент может быть определен с помощью рычага с грузом, укрепляемого на свободной части вала. Увеличивая груз или плечо рычага, достигают положения, при котором под действием созданного ими вращающего момента вал начнет поворачиваться. Тогда начальный момент сопротивления

$$M_{нач} = G_г l_г + \frac{1}{2} G_р l_р \ [кг \cdot м], \qquad (V.41)$$

где $G_г$ и $G_р$ — вес соответственно груза и рычага, *кг*; $l_г$ и $l_р$ — проекции на горизонталь соответственно расстояния от оси вала до центра тяжести груза и длины рычага, *м*.

11. Отыскание повреждений в ЭМ

Место пробоя изоляции обмотки на корпус

В процессе испытания изоляции обмоток ЭМ повышенным напряжением так же, как и при механических и других повреждениях, возможны пробои изоляции на корпус. Иногда место повреждения, может быть обнаружено визуально по явным признакам обгорания и разрушения изоляции в непосредственной близости от места пробоя ее на корпус.

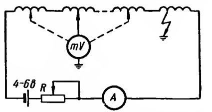


Рис. V.13. Схема нахождения места замыкания на корпус обмотки ЭМ.

Если при осмотре обмотки место пробоя изоляции обнаружить не удается, можно воспользоваться методом, основанным на пропускании по обмотке постоянного тока и измерении потенциала различных частей ее по отношению к корпусу чувствительным милливольтметром. Подсоединять милли-

вольтметр к обмотке удобнее всего с помощью стальиой иглы; напряжеиие нсточника постояииого тока, как правило, может не превышать 4—6 *в*. Схема определеиия замыкаиия иа корпус обмотки приведена на рнс. V.13.

В месте замыкання иа корпус потенциал обмотки имеет наименьшее значение (близкое к иулю). При отклоненин от этого места в ту нли другую сторону потеициал возрастает, а зиаки его стаиовятся разными.

Иногда находнт прнмененне метод, осиоваиный иа последовательном деленни обмотки на частн путем распайкн ее и нахождении поврежденного участка с помощью измерительиого прибора (омметра нлн мегомметра).

Некачественные соединения (пайки) в обмотках

Еслн в процессе нзмерення сопротивления постояииому току обмоткн возникло сомненне в качественном выполненни соедннеиий отдельных ее частей вследствне чрезмерного возрастания величины этого сопротивлення по сравненню с расчетиымн даннымн или даннымн предыдущнх нзмереннй, целесообразио проверннть все соединення.

Эту проверку нанболее просто осуществить мнкрометром, которым нзмеряют сопротнвление каждого соединения. Изоляцию обмотки прокалывают по обе стороны соедннеинй стальнымн нглами, образовавшнеся отверстия в изоляцни залнвают изоляционным лаком.

Распространен также метод проверки соеднненнй, по которому через обмотку машнны пропускают постоянный ток, равный 50—60% номинального, а иа соедиионнях нзмеряют паденне напряжения.

Нагрев соедииений, кроме того, проверяют иа ощупь. Если в отдельных соединениях замечены отклонення от средних значений температуры нагрева н паденнй иапряжения, соедииення переделывают. Для некоторых видов обмоток машин измереиие сопротивления соединеннй (паек) обязательио.

Основные причины повышенной вибрации

Повышенная вибрация (табл. V.5) ЭМ может быть вызваиа причинамн электромагнитного илн механического характера.

К электромагнитным прнчииам относят: а) витковые замыкания илн двойные замыкания на корпус в обмотках постояииого тока ЭМ; б) неправильное выполиение соедииеиий отдельиых частей илн фаз обмоток; в) короткое замыкаиие междувнтковое или междуфазное в роториых обмотках АМ; г) обрыв одной или иескольких параллельиых ветвей обмоткн; д) неравиомерный (сверх иормы) воздуш-

ный зазор между ротором и статором машины вследствие неправильной установки частей машины или деформации активной стали; е) недостаточную жесткость корпуса статора, вследствие чего активная сталь якоря притягивается к полюсам индуктора и вибрирует с частотой, равной двойной частоте вращения; ж) неудачное соотношение чисел зубцов статора и ротора.

Таблица V.5

Значение вибрации подшипников электродвигателя

Синхронная скорость вращения, *об/мин*	Допустимая амплитуда вибрации подшипника, *мк*
3000	50
1500	100
1000	130
750 и ниже	160

Причины механического характера: а) неправильная центровка агрегата, состоящего из нескольких машин; б) наличие неуравновешенных вращающихся частей; в) ослабление крепления или посадки вращающихся частей; г) наличие неисправностей в соединительной муфте (перекос полумуфт, полумуфты «бьют», изношены пальцы или другие части муфты); д) искривление вала; е) появление овальности шеек вала; ж) не установлен требуемый зазор между шейками вала и вкладышами подшипников (в табл. V.6 даны предельные величины зазоров в подшипниках скольжения); приведенные в табл. V.7 зазоры относятся к подшипникам машин мощностью до 1000 *квт* включительно при любом числе оборотов и до 200 *квт* включительно при 3000 *об/мин*; зазоры для остальных машин задаются заводом-изготовителем; увеличенные зазоры допускаются в виде исключения; посадка для шейки вала в подшипниковом вкладыше при скорости вращения меньше 1000 *об/мин* легкоходовая Л по ОСТу 1012, при скорости вращения 1000 *об/мин* и больше широкоходовая Ш по ОСТу 1012; з) низкая температура масла, входящего в подшипник при принудительной смазке; и) слабое закрепление машины на фундаменте; к) лабиринтовые уплотнения подшипников или маслоулавливающих колец, задевающие за вал; л) наличие

Таблица V.6

Предельные зазоры в подшипниках скольжения

Номинальный диаметр вала, *мм*	Зазор, *мм*, при скорости вращения, *об/мин*		
	до 1000	1000—1500	> 1500
18—30	0,04—0,093	0,06—0,13	0,14—0,28
30—50	0,05—0,112	0,075—0,16	0,17—0,34
50—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,2—0,4
80—120	0,08—0,16	0,12—0,235	0,23—0,46
120—180	0,1—0,195	0,15—0,285	0,26—0,53
180—260	0,12—0,255	0,18—0,30	0,3—0,6
260—360	0,14—0,25	0,21—0,38	0,34—0,68
360—500	0,17—0,305	0,25—0,44	0,38—0,76

Таблица V.7

Величина зазора в подшипниках скольжения со смазочными кольцами

Номинальный диаметр вала, *мм*	Зазор между шейкой вала и вкладышем подшипника, *мм*	
	Скорость вращения меньше 1000 *об/мин*	Скорость вращения 1000 *об/мин* и больше
80—120	0,08—0,125	0,12—0,175
120—180	0,10—0,155	0,15—0,21
180—260	0,12—0,18	0,18—0,25
260—360	0,14—0,21	0,21—0,29
360—500	0,17—0,245	0,25—0,34

дефектов в зубчатых или ременных передачах; м) номинальная скорость вращения ротора машины совпадает с критической (резонансной) скоростью его.

Причины неисправности подшипников

При эксплуатации по нагреву подшипников судят о состоянии машин. Нагрев их сверх допустимых норм может быть вызван: а) недостаточным поступлением масла; б) загрязнением масла пылью, ржавчиной и т. п; в) неправильным выбором сорта масла; г) недостаточностью зазора между шейкой вала и вкладышем подшипника; д) повышенной шереховатостью шеек вала; е) попаданием в масло воды (из маслоохладителя); ж) плохим охлаждением масла в охладителе; з) искривлением вала; и) неправильной центровкой; к) несоответствием материала заливки вкладыша подшипника условиям работы машины; л) некачественной заливкой вкладыша; м) изношенностью деталей подшипника.

Когда из подшипника вытекает масло, причина может быть в следующем: слишком обильна подача масла или велико давление

Таблица V.8

Характеристика смазочных масел для подшипников скольжения

Наименование и марка масла	Вязкость при температуре 50° С		
	кинематическая, сСт (в пределах)	условная, соответствующая кинетической, *град*	ГОСТ
Индустриальное 12 (веретенное 2)	10—14	1,86—2,26	1707—51
Индустриальное 20 (веретенное 3)	17—23	2,60—3,31	1707—51
Индустриальное (машинное Л)	27—33	3,81—4,59	1707—51
Индустриальное 45 (машинное С)	38—52	5,24—7,07	1707—51
Турбинное 22 (турбинное Л)	20—23	2,9—3,3	32—53
Турбинное 30 (турбинное УТ)	28—32	3,8—4,5	32—53

Таблица V.9

Характеристика масел, применяемых для подшипников ЭМ

Скорость вращения машины и ее тип	Мощность машины, *квт*					
	< 100		100—1000		> 1000	
	Вязкость условная, *град*	Марка масла	Вязкость условная, *град*	Марка масла	Вязкость условная, *град*	Марка масла
1000 *об/мин* и больше:						
нереверсивные и с редкими запусками	2,6—3,3	Индустриальное 20	2,6—3,3 3,8—4,6	Индустриальное 20 или 30	2,6—3,3 3,8—4,6	Индустриальное 20 и 30
реверсивные и с частыми запусками	2,6—3,3	То же	3,8—4,6	Индустриальное 30	3,8—4,6	Индустриальное 30
250—1000 *об/мин*:						
нереверсивные и с редкими запусками	2,6—3,3	» »	3,8—4,6	То же	3,8—4,6	То же
реверсивные и с частыми запусками	2,6—3,3	» »	3,8—4,6	» »	5,2—7,0	Индустриальное 45
До 250 *об/мин* нереверсивные и реверсивные . . .	2,6—3,3	» »	5,2—7,0	Индустриальное 45	5,2—7,0	То же

Таблица V.10

Характеристика консистентных смазок для подшипников качения

Наименование и марка смазки	Температура каплепадения (не меньше), °C	Предельная пенетрация при 25° C	ГОСТ	Основное назначение	Основание
Универсальная среднеплавкая УС-3 (солидол жировой Т)	90	150—220	1033—51	Для подшипников, работающих при температуре не выше 75° C	Кальциевое
Универсальная тугоплавкая водостойкая УТВ (смазка 1—13 жировая)	120	250—290	1631—52	Для подшипников, работающих при повышенной влажности	»
Универсальная тугоплавкая УТ-1 (консталин жировой)	130	225—275	1957—52	Для подшипников, работающих при температуре не выше 115° C	Натриевое
Универсальная тугоплавкая УТ-2 (консталин жировой)	150	175—225	1957—52	Для подшипников, работающих при температуре 135° C	»

Примечания.

1. Выбор смазок производится по их свойствам (температуре каплепадения, числу пенетрации, кальциевому или натриевому основанию). Для подшипников ЭМ рекомендуются смазки с температурой каплепадения 110—150° C, так как допустимая температура нагрева подшипников качения 95° C.

2. Пенетрация выражается в градусах глубины погружения стандартного конуса в испытываемый образец мази за 5 *сек*. Чем мягче мазь, тем больше число пенетрации.

3. В условиях влажной среды применяются только кальциевые смазки.

в маслонапорной системе, плохо обработаны лабиринтовые уплотнения, не подогнаны детали разъемных частей подшипника, малы отверстия для стока масла.

Сорт масла выбирают в основном по его вязкости при температуре 50° С (табл. V. 8 — V. 10). Давление в поддерживающем масляном слое при работе подшипника пропорционально окружной скорости шейки вала и вязкости масла. Чем выше удельное давление в подшипнике, тем больше вязкость масла, чем выше окружная скорость шейки вала, тем меньше вязкость. При повышении температуры вязкость масла уменьшается. Повышение температуры подшипников и масла выше 65—70° С недопустимо вследствие уменьшения вязкости масла и возможности перехода жидкостного трения в полужидкостное.

Причины неисправности воздухоохладителя

Повышенный перепад температуры между воздухом и водой (табл. V.11) может быть вызван тем, что засорились трубки возду-

Таблица V.11

Технические данные воздухоохладителей

Параметр	Тип воздухоохладителя			
	завода «Электросила»		ХЭМЗа	
	ВОП19,5	ВОП13,5	ВО-435-210	ВО-435-140
Отводимые потери, *квт*	140	95	150	100
Расход воздуха, $м^3$*/час*	23700	16200	24700	16400
Температура горячего воздуха, ° С	48,85	48,85	51,0	51,5
Температура охлаждающего воздуха, ° С	29,55	29,55	31,0	31,5
Перепад температуры воздуха, ° С	19,3	19,3	20	20
Расход воздуха на 1 *квт* потерь, $м^3$*/мин*	2,8	2,8	2,75	2,75
Скорость воздуха, *м/сек*	2,3	2,22	3,13	3,13
Паденне давления воздуха, *мм вод. ст*	16	15	26	26
Расход воды, $м^3$*/час*	37	25	42	30
Температура охлаждающей воды, *град*	25	25	25	25
Температура горячей воды, ° С	28,27	28,28	28,1	27,87
Перепад температуры воды, ° С	3,27	3,28	3,10	2,87

хоохладителя (на стенках образовались отложения), корродированы шайбы на трубках, неравномерно распределен воздух между частями воздухоохладителя, неправильно выбран воздухоохладитель (секций установлено меньше, чем требуется).

Отпотевание воздухоохладителя наблюдается тогда, когда температура охлаждающей воды слишком мала или имеет место подсос воздуха повышенной влажности в систему охлаждения.

Течь в воздухоохладителе может появиться из-за недостаточной плотности развальцовки труб в трубной доске, повышенного давления охлаждающей воды или разрушения трубок воздухоохладителя (коррозией, гидравлическими ударами и т. п.).

ГЛАВА VI

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Объемы испытаний

Объем, нормы и методы типовых и контрольных испытаний МПТ определяются ГОСТами 183—55, 10159—62, 2532—50, 184—61, 1651—54, 2167—43, 2535—44.

Типовые испытания МПТ предусматриваются ГОСТом 183—55 в следующем объеме:

1) измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками машины;

2) измерение сопротивления обмоток в практически холодном состоянии;

3) испытание при повышенной скорости вращения;

4) испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками;

5) испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмотки якоря;

6) проверка коммутации при кратковременной перегрузке по току (допускается в режиме короткого замыкания);

7) определение характеристики холостого хода;

8) определение скорости вращения в режиме ненагруженного двигателя при номинальном напряжении и рабочем соединении обмоток (только для двигателей с параллельной и смешанной обмотками);

9) испытание при номинальной нагрузке в течение не меньше 60 *мин* (для машин мощностью до 100 *квт* включительно);

10) определение потерь в стали и механических;

11) испытание на нагрев (непосредственной нагрузкой или косвенным методом);

12) определение зоны безыскровой коммутации (для машин с ДП) и проверка исправности коммутации;

13) испытание охладительной системы машин, работающих с замкнутым циклом вентиляции;

14) определение уровня радиопомех (испытания по пп. 1—6, 8 и 9 — контрольные).

У тяговых МПТ, согласно ГОСТу 2582—50, дополнительно проверяют скорость вращения и реверсирования при номинальной мощ-

ности (для электродвигателей) или напряжение при номинальной мощности (для генераторов). Напряжение для тяговых генераторов мощностью свыше 100 *квт* допускается проверять при холостом ходе.

Генераторы постоянного тока низковольтные многоамперные двухколлекторные, согласно ГОСТу 1651—54, дополнительно проверяют по пределам регулирования напряжения при токе 100 и 25% номинального. Эти генераторы должны допускать регулирование напряжения от 60 до 100% номинального при указанных выше токах с помощью перемещения подвижных траверс щеткодержателей и изменения сопротивления регулирующего реостата.

Проверяют также пиковые значения пульсации напряжения на каждом коллекторе (катодным вольтметром), наличие гальванических покрытий (при контрольных испытаниях) и их качество (при типовых испытаниях).

Кроме того, в ГОСТе 1651—54 даны указания о проверке балансировки и величины биения коллекторов. У генераторов постоянного тока двухколлекторных для зарядки аккумуляторных батарей (установок электросвязи), согласно ГОСТу 2167—43, дополнительно испытывается пусковая обмотка (специальная сериесная стартерная обмотка, предназначенная для пуска в ход двигателя внутреннего сгорания, сцепленного с генератором эластичной муфтой). При этом определяют пусковой момент генератора в двигательном режиме, который должен быть не ниже 0,3 *кг · см* для генераторов типа ЗДН-1000 и ЗДН-1300 и 0,6 *кг · см* для генераторов типа ЗДН-1500 и ЗДН-3000.

Далее определяют соотношение напряжений на обоих коллекторах (при номинальном напряжении на одном из коллекторов допустимое отклонение напряжения на втором составляет $\pm 2\%$ номинального, если паспортные напряжения обоих коллекторов одинаковые, и $\pm 10\%$, если они разные).

Генераторы постоянного тока одноколлекторные зарядно-буферные, согласно ГОСТу 2535—44, подвергают дополнительным испытаниям по сравнению с ГОСТом 183—55: а) внешнему осмотру; б) проверке биения коллектора; в) проверке пределов регулировки напряжения; г) определению тока возбуждения при низшем, номинальном и высшем напряжениях генератора при холостом ходе; д) проверке псофометрического напряжения шумов; е) снятию внешних характеристик при низшем, номинальном и высшем напряжениях генератора; ж) снятию нагрузочных характеристик при 25; 100 и 125% номинального тока генератора; з) проверке плавности регулировки напряжения генератора; и) определению к. п. д. генератора при низшем, номинальном и высшем напряжении (пп. е — и относятся к типовым испытаниям). Приемо-сдаточные испытания МПТ

(кроме возбудителей), согласно ПУЭ, I-8-14, включают следующее.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками, а также бандажей.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.

3. Измерение сопротивления постоянному току: а) обмоток возбуждения МПТ; б) реостатов и пуско-регулировочных сопротивлений на каждом ответвлении; в) обмотки якоря (между коллекторными пластинами).

4. Снятие ХХХ и испытание витковой изоляции.

5. Измерение воздушных зазоров между полюсами.

6. Проверка работы МПТ на холостом ходу в течение 1 *ч*. Величина тока холостого хода не нормируется.

7. Определение на холостом ходу и под нагрузкой пределов регулирования скорости вращения электродвигателей.

Приемо-сдаточные испытания МПТ напряжением больше 440 *в*, мощностью 200 *квт* и выше осуществляют в полном объеме по пп. 1—7, для остальных МПТ — пп. 1; 2; 3б; 5—7.

В объем приемо-сдаточных испытаний возбудителей (СМ), кроме пп. 1—5, испытания по которым выполняют независимо от мощности машины, включают также (ПУЭ, I-8-13) измерение сопротивления изоляции подшипников, измерение сопротивления постоянному току якорной обмотки (между коллекторными пластинами) для возбудителей синхронных генераторов мощностью 12,5 *мвт* и больше, снятие нагрузочной характеристики (при нагрузке на ротор генератора), измерение вибрации.

2. Осмотр МПТ

В гл. V даны основные указания по осмотру ЭМ. При осмотре МПТ дополнительно следует проверить правильность расстановки главных и добавочных полюсов (расстояния между краями их башмаков не должны отличаться друг от друга больше чем на 1—2 *мм*); осмотреть коллектор, обращая внимание на то, чтобы поверхность его была чистой, без царапин и вмятин; изоляцию между пластинами следует выбирать на глубине 1,5—2,5 *мм* по всей ширине между пластинами, края пластин не должны быть острыми. Пластины должны прилегать к щетке почти по всей ширине, поэтому закругление поверхности пластин недопустимо (рис. VI.1); коллектор следует очистить от медных стружек и угольной пыли.

При осмотре МПТ нужно проверить правильность выполнения щеткодержателей, а также расстановку и подбор щеток, надежность закрепления траверсы щеткодержателей. На траверсе и на

торцевой крышке машины должны быть заводские отметки; согласно ГОСТу 183—55, по этим отметкам определяют нормальное положение щеток на коллекторе.

Щеткодержатели нужно прочно закреплять на траверсе. Рас-

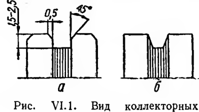


Рис. VI.1. Вид коллекторных пластин:
а — после правильной обработки; *б* — после неправильной обработки.

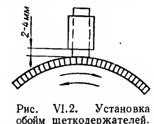


Рис. VI.2. Установка обойм щеткодержателей.

стояние между нижними краями обойм щеткодержателей и коллектором должно составлять 2—4 *мм* (рис. VI.2). Обоймы щеткодержателей следует располагать на пальцах таким образом, чтобы расстояние от края коллектора до щеток обеих полярностей, а также расстояние между ними для одной группы были одинаковыми. Ос-

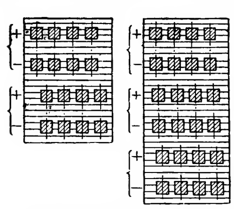


Рис. VI.3. Расположение щеток на коллекторе.

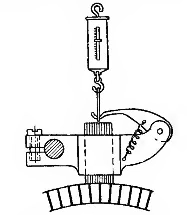


Рис. VI.4. Расположение динамометра при измерении натяжения щеток.

тальные группы щеток необходимо смещать относительно первой согласно рис. VI.3.

Обоймы щеткодержателей не должны приближаться слишком близко по условиям перекрытия по воздуху к петушкам и другим деталям якоря при его осевом разбеге. Выбор щеток обусловли-

вается окружной скоростью коллектора и величиной тока, а также типом машины (табл. VI.1). В сомнительных случаях силу нажатия щеток нужно проверять с помощью динамометра (рис. VI.4). При измерении щетку следует оттягивать динамометром до такого положения, пока положенный под нее лист бумаги будет выниматься без усилия. Во избежание заклинивания и поломок из-за слишком свободной посадки щетки в обойме зазор между щеткой и обоймой должен составлять 0,1—0,2 *мм*.

Таблица VI.1

Характеристика электрощеток МПТ

Машина (тип и назначение)	Условия работы		Рекомендуемые марки щеток	
	Плотность тока, *а/см²*	Окружная скорость, *м/сек*	основные	дополнительные
Двигатели постоянного тока				
Двигатели общепромышленного применения напряжением 120—220 *в* с нормальной или несколько затрудненной коммутацией, меняющейся нагрузкой и мощностью примерно 100 *квт*	До 10	20—25	ЭГ14	ЭГ2а
Двигатели подъемников, кранов, насосов:				
мощность 10—25 *квт*, напряжение до 500 *в*	До 8	До 15	Г1	ЭГ14, ЭГ9
мощность 10—25 *квт*, напряжение до 500 *в* в случае затруднительной коммутации и загрязнения коллектора . . .	До 6	До 10	Т2	ЭГ14, ЭГ9
средней и большей мощности, в том числе реверсивные напряжением до 500 *в*	До 10	До 15—30	ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8	ЭГ9
Вспомогательные механизмы прокатных станов (механические сотрясения, толчкообразная нагрузка, высокое напряжение, затрудненная коммутация, слюда выбрана) . . .	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ15	—
Приводы прокатных станов	9—10	До 30—40	ЭГ8, ЭГ14 ЭГ15	—
Двигатели реверсивные и нереверсивные, для блюмингов, слябингов, рельсобалочных станов и т. п. . .	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ15	—
Тяговые двигатели:				
напряжение 500 *в* и больше . .	До 10	30—40	ЭГ2а	ЭГ9
напряжение 220—250 *в*	До 10	30	ЭГ14	ЭГ9

Машина (тип и назначение)	Условия работы		Рекомендуемые марки щеток	
	Плотность тока, $a/cм^2$	Окружная скорость, *м/сек*	основные	дополнительные
Генераторы постоянного тока				
Генераторы, возбудители и коллекторы одноякорных преобразователей:				
малая мощность (до 20—30 *квт*), напряжение 110 *в*	До 9	До 15	ЭГ14	ЭГ2а
средняя и большая мощность, напряжение 110 *в* (нагрузка равномерная, коммутация нормальная)	До 10	20—25	Г3	ЭГ2а, ЭГ5, ЭГ14, ЭГ8
средняя и большая мощность, напряжение 110—220 *в* и больше (нагрузка толчкообразная, коммутация затрудненная), в том числе генераторы преобразовательных агрегатов	До 10	20—30	ЭГ14, ЭГ8 ЭГ83, ЭГ15	—
Сварочные генераторы	—	—	Г3, ЭГ4	ЭГ8, ЭГ14
Генераторы пониженного напряжения (для зарядки батарей и электролиза), *в*:				
до 80	До 12	До 20	ЭГ4, ЭГ5	Г3, М3
до 40	До 12	До 20	МГ, М6	М3
12—24	10—15	До 20	МГ4	М1
до 12	До 20	До 20	МГС, СМ	—

Равномерность расстановки щеток по окружности коллектора проверяют с помощью полосы бумаги, оборачиваемой вокруг коллектора под щетками; против краев щеток на бумаге наносят риски. Разворачивая полосу и измеряя расстояние между рисками, можно определить разницу между расстояниями, которая должна лежать в пределах 1—2 *мм*. Подобная проверка, произведенная подсчетом числа коллекторных пластин между щетками, дает значительно менее точные результаты.

Правильность маркировки выводов МПТ можно проверить по данным табл. VI. 2.

При измерении воздушных зазоров нужно учесть, что величина зазоров в диаметрально противоположных точках не должна отличаться от среднего значения более чем на 10%.

Таблица VI.2

Обозначения выводов обмоток МПТ

Наименоваяие	ГОСТ 183—55		ГОСТ 2582—50	
	Начало	Конец	Начало	Конец
Обмотка якоря	Я1	Я2	Я	ЯЯ
Коммутационная обмотка	К1	К2	—	—
Обмотка добавочных полюсов (основиая)	Д1	Д2	—	—
Последовательная обмотка возбуждеиия (сериесная)	С1	С2	К	КК
Параллельиая обмотка возбуждеиия (шунтовая)	Ш1	Ш2	Ш	ШШ
Пусковая обмотка	П1	П2	—	—
Уравнительиый провод и уравнительная обмотка	У1	У2	—	—
Обмотка особого назиачеиия	01; 03	02; 04	—	—
Обмотка незавиcимого возбуждения . .	—	—	Н	НН
Промежуточный вывод последовательной обмотки возбуждения	—	—	С	

Наличие остаточного напряжения определяется милливольтметром при проворачивании машины от руки. Иногда это позволяет заблаговременно подготовиться к намагничиванию полюсов МПТ, потерявших остаточный магнетизм.

В случае необходимости (повышенная вибрация, сильное искрение щеток и т. д.) измеряют биение вала, коллектора и сердечника якоря. В табл. VI.3 приведены нормы допустимого биения при вращении со скоростью до 1 *м/сек*, принятые электромашиностроительными заводами.

Таблица VI.3

Допустимые величины биения ротора МПТ

Диаметры коллектора, *мм*	Скорость вращения, *об/мин*	Биение, *мм*		Допустимое увеличение биения в горячем состоянии по сравнению с холодным, *мм*
		в холодном состоянии	в горячем состоянии	
До 250	До 3000	0,02	0,04	0,02
250—350	750—2000	0,02	0,04	0,02
350—600	600—1250	0,03	0,05	0,03
600—900	500—850	0,03	0,06	0,04
900—1500	450—700	0,04	0,07	0,04
Свыше 1500	До 400	0,04	0,07	0,05

Для генераторов постоянного тока (ГПТ), низковольтных многоамперных двухколлекторных, согласно ГОСТу 1651—54, биение коллекторов при скорости вращения до 750 *об/мин* не должно превы-

шать 0,08 *мм*, при скорости вращения свыше 750 *об/мин* — 0,05 *мм*. У зарядио-буфериых одиоколлекториых ГПТ (ГОСТ 2535—44) мощностью до 10 *квт* биение коллекторов должио быть до 0,035 *мм*, мощностью от 11 до 35 *квт* — 0,045 *мм* и мощностью от 36 до 120 *квт* — 0,065 *мм*.

ГПТ двухколлекториые для зарядки аккумуляторных батарей допускают биение коллектора 0,03 *мм*.

3. Испытание изоляции обмоток и бандажей

Измерение сопротивления

Величииа сопротивлеиия изоляции обмоток относительио корпуса и между обмотками МПТ, согласио ГОСТам 10159—62 и 183—55, при коитрольиых и типовых испытаииях должна быть ие иижe зиачеиия, получаемого по формуле

$$R = \frac{U}{1000 + \frac{P_{ном}}{100}} \, [Мом], \qquad (VI.1)$$

где U — иомииальное напряжеиие обмотки МПТ, *в*; $P_{ном}$ — номииальиая мощность машииы, *квт*.

Согласно ПУЭ, величина сопротивлеиия изоляции при приемо-сдаточиых испытаниях ие иормируется.

При испытаииях, проводимых после плаиовых капитальных ремоитов, сопротивлеиие изоляции якориых обмоток и бандажей возбудителей сиихроииых геиераторов должио быть ие иижe 0,5 *Мом*.

Сопротивлеиие изоляции обмоток и баидажей МПТ измеряют мегомметром иа напряжеиие 500—1000 *в*, а сопротивлеиие изоляции проволочиых бандажей определяют по отношеиию к обмотке или железу якоря в зависимости от места их наложеиия на якоре. После соедииения всех обмоток МПТ по требуемой схеме и присоедииеиия ее к коммутациоиной и регулировочной аппаратуре измеряют сопротивлеиие изоляции всех токоведущих элемеитов устаиовки.

Сопротивлеиие изоляции МПТ, а также всей сети постояииого тока при работе можио определить вольтметром с большим виутреииим сопротивлением $R_в$ (не иижe 500 *ом/в*), поочередио подключаемым к обоим выводам машины (иапряжеиие U) и между каждым из выводов и корпусом (U_1 и U_2). При этом величина сопротивления изоляции

$$R_{из} = R_в \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1 \right) 10^{-6} \; [Мом]. \qquad (VI.2)$$

Таблица VI.4

Значения испытательных напряжений промышленной частоты для изоляции обмоток и бандажей МПТ

Тип МПТ	Испытательное напряжение (действующее значение), *в*			
	ГОСТ 183—55	ПУЭ	«Объем и нормы испытаний электрооборудования»	«Программа приемо-сдаточных испытаний синхронных машин»
Мощность меньше 1 *квт*, а также все машины при $U_{ном}$ до 36 *в*	$2U_{ном} + 500$	—	—	—
Мощность от 1 до 3 *квт* включительно при $U_{ном}$ свыше 36 *в*	$2U_{ном} + 1000$	—	—	—
Мощность от 3 до 1000 *квт* при $U_{ном}$ свыше 36 *в*	$2U_{ном} + 1000$, но не меньше 1500	$0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$, но не меньше 1100	—	—
Мощность 1000 *квт* и выше:				
при $U_{ном}$ до 3300 *в*	$2U_{ном} + 1000$	$0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$	—	—
при $U_{ном}$ от 3300 до 6600 *в* включительно	$2{,}5\,U_{ном}$	$0{,}75 \cdot 2{,}5U_{ном}$	—	—
при $U_{ном}$ свыше 6600 *в*	$2U_{ном} + 3000$	$0{,}75\,(2U_{ном} + 3000)$	—	—
Возбудители ЭМ, кроме синхронных . . .	$2U_{ном} + 1000$, но не меньше 1500	$0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$, но не меньше 1100	—	—
Возбудители синхронных генераторов с напряжением возбуждения до 800 *в*	$10U_{ном}$, но не меньше 1500 и не больше 3500	$0{,}75 \cdot 10U_{ном}$, но не меньше 1100 и не больше 2600	1000	$0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$, но не меньше 1100
Возбудители синхронных двигателей и компенсаторов	$10U_{ном}$, но не меньше 1500	$0{,}75\,(10U_{ном} + 1000)$, но не меньше 1100	1100	$0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$, но не меньше 1100

Примечание. Изоляция обмоток крановых, подъемно-транспортных и металлургических МПТ, согласно ГОСТу 184—61, должна испытываться напряжением $3U_{ном} + 1000$ *в*.

Таблица VI.5

Нормы пооперационных испытаний изоляции якорных обмоток при полной перемотке

Последовательность испытаний	Объект испытаний	Испытательное напряжение промышленной частоты (действующее значение) при номинальном напряжении машины, *в*						Продолжительность испытания, *сек*
		до 150	150—400	401—700	750	1500	3000	
После насадки коллектора на вал	Изоляция между пластинами коллектора	Независимо от напряжения машины при различной толщине миканитовых прокладок, *мм*; 0,7—300 *в*; 0,8—340 *в*; 1,0—450 *в*; 1,2—550 *в*						2
	Коллектор относительно корпуса	2500	3000	4500	5500	6500	9500	60
После закладки и осаживания нижнего слоя секций	Изоляция между витками секций и коллекторными пластинами	350	350	350	350	350	350	2
	Секции относительно корпуса	2000	2500	3500	4500	6000	9000	60
После закладки и осаживания верхнего слоя секций и забивания клиньев	Витковая изоляция секций	От 15 до 25 *в* на виток обмотки якоря (испытание трансформатором)						20
	Секции относительно корпуса	1800	2300	3000	4000	5500	8500	60
После пайки коллектора	Витковая изоляция секций	От 15 до 25 *в* на виток обмотка якоря						20
	Секции относительно корпуса	1700	2100	2700	3500	5000	8000	60
После окончательной пропитки якоря и шлифовки коллектора	Витковая изоляция секций	От 15 до 25 *в* на виток обмотки якоря						20
	Секции относительно корпуса	1600	1900	2500	3000	4500	7500	60
Заключительное испытание	Машина в собранном виде	По ГОСТу 183—55 (см. табл. VI.4)						

Примечание. При частичной перемотке МПТ испытательные напряжения принимаются равными 75% от указанных в таблице.

Испытание электрической прочности изоляции

Испытательные напряжения промышленной частоты при испытании изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками приведены в табл. VI.4.

В процессе приемо-сдаточных испытаний МПТ, а также при профилактических испытаниях возбудителей синхронных генераторов испытывается изоляция цепей возбуждения (без обмоток МПТ), реостатов, пуско-регулировочных сопротивлений, сопротивлений гашения поля. Величина испытательного напряжения при частоте 50 *гц* 1000 *в*, а для сопротивлений гашения поля 2000 *в*. Продолжительность испытаний электрической прочности изоляции 1 *мин*.

Междувитковую изоляцию неподвижных обмоток МПТ (обмоток возбуждения, дополнительных полюсов и др.) испытывают в процессе изготовления или при капитальном ремонте со сменой обмоток; по существу — это пооперационное испытание (см. табл. V.2).

Значения испытательных напряжений междувитковой изоляции якорных обмоток при пооперационном контроле приведены в табл. VI.5, а при испытаниях собранной машины (постоянного тока) — в табл. VI.6.

Таблица VI.6

Значения испытательного напряжения для междувитковой изоляции обмотки якоря

Наименование МПТ	Напряжение (постоянного тока) и продолжительность испытания		
	ГОСТ 183—55	ПУЭ	Объем и нормы испытания электрооборудования
Машины с числом полюсов до четырех включительно	1,3 $U_{ном}$; 5 *мин*	1,3 $U_{ном}$; 5 *мин*	—
Машины с числом полюсов больше четырех	1,3 $U_{ном}$ при условии, что среднее напряжение между коллекторными пластинами не превышает 24 *в*; 5 *мин*.	1,3 $U_{ном}$ при условии, что среднее напряжение между коллекторными пластинами не превышает 24 *в*; 5 *мин*.	—
Возбудители, рассчитанные на форсировку возбуждения	Предельное напряжение форсировки, но не меньше 1,3 $U_{ном}$; 1 *мин*	Снятие XXX возбудителя до потолочного значения напряжения	Снятие XXX возбудителя до потолочного значения напряжения

Междувитковую изоляцию испытывают при холостом ходе МПТ, повышении подводимого нли генерируемого напряжения до значений, указанных в табл. VI.6, н номинальной скорости вращения. Если паспорт МПТ предусматривает несколько значений номинальных скоростей вращения, испытание проводят при наибольшей нз них.

Допустимое значение нспытательного напряжения междувитковой изоляции МПТ с числом полюсов больше четырех рассчитывают по формуле

$$U_{\text{нсп}} = 12\frac{K}{P}\,[в], \qquad (VI.3)$$

где K — полное число коллекторных пластин; P — число пар главных полюсов МПТ.

Следует нметь в виду, что при нспытанни междувнтковой изоляции МПТ с большим чнслом полюсов возможно перекрытие между коллекторными пластинами и возникновение кругового огня. В связи с этим напряжение следует повышать медленно н плавно. Если испытание проводят в генераторном режиме, МПТ следует возбуждать от постороннего источника, так как при самовозбуждении возможно быстрое н неравномерное нарастание напряжения.

Отсутствие витковых замыканий в обмотках полюсов можно проверить в процессе измерения сопротивления обмоток постоянному току н, с большнм эффектом, — при пропусканнн через обмотки переменного тока и измерении падения напряжения на каждой секции обмоткн, которые прн отсутствии витковых замыканий должны быть одинаковыми. В последнем случае полюса могут размагнититься, поэтому следует принять меры для последующего намагничивания МПТ с самовозбуждением.

4. Нормы испытания МПТ при повышенной скорости вращения

Согласно ГОСТу 183—55, МПТ должны выдерживать в течение 2 *мин* без повреждений и остаточных деформаций следующее повышение скорости:

1) МПТ, предназначенные для стационарного оборудования гидроэлектростанций, — 50% выше номинальной;

2) электродвигатели с последовательным возбужденнем — 20% сверх наибольшей указанной на заводском щитке, но не меньше 50% сверх номинальной;

3) электродвигатели с регулнровкой скорости вращения — 20% сверх наибольшей, указанной на заводском щитке электродвигателя;

4) все остальные МПТ — 20% выше номинальной.

Возбудители гидрогенераторов, приводимые от вала последних, согласно ГОСТу 5616—50, в течение 2 *мин* должны выдерживать угонную скорость, превышающую номинальную (или указанную в технических условиях) на 80%. Крановые и металлургические двигатели, согласно ГОСТу 184—61, должны выдерживать в течение 2 *мин* скорость вращения, на 10% превышающую максимальную, которая для этих двигателей в 2—3,8 раза больше номинальной.

Испытание при повышенной скорости вращения проще проводить при работе МПТ в режиме двигателя; при этом регулирование скорости по условиям коммутации предпочтительнее осуществлять изменением возбуждения, а не напряжения, подводимого к МПТ.

5. Особенности измерения сопротивления обмоток МПТ постоянному току

Согласно ГОСТам на МПТ, ПУЭ, ПТЭ и другим директивным материалам, сопротивление всех обмоток МПТ измеряют как при контрольных испытаниях на заводе-изготовителе, так и при приемо-сдаточных, профилактических и послеремонтных испытаниях.

Отклонение величины сопротивления обмоток возбуждения от заводских данных или ранее измеренных значений не должно превышать $\pm 2\%$. Сопротивления якорных обмоток, измеренные между соседними коллекторными пластинами, не должны отличаться друг от друга больше чем на 10% (для прокатных двигателей на 5%), если это отклонение не обусловлено наличием уравнительных соединений.

Сопротивления обмоток главных и добавочных полюсов, а также компенсационной обмотки следует измерять так, как указано в гл. V. В сомнительных случаях для особо ответственных машин (возбудителей синхронных генераторов, генераторов и двигателей прокатных станов и др.) целесообразно измерять сопротивление частей обмоток, расположенных на каждом полюсе, а также контактных соединений, что значительно упрощает обнаружение дефектов обмоток и соединений. При этом удобно пользоваться стальными иглами или специальными щупами.

Измерение сопротивления обмотки якоря представляет собой сложную и трудоемкую операцию. Вследствие наличия многих параллельных цепей, многократной замкнутости обмотки и наличия у некоторых машин уравнительных соединений измерить сопротивление обмотки или отдельных ее ветвей у собранного якоря с обычно требуемой точностью практически невозможно.

В зависимости от поставленной задачи применяют разные методы измерения сопротивления обмотки якоря.

Для проверки качества паек, а также отсутствия витковых замыканий и обрывов обычно пользуются методом измерения сопротивления между соседними коллекторными пластинами. Такое измерение проводится с помощью вольтметра (милливольтметра) и амперметра при питании схемы от аккумуляторной батареи (рис. VI.5). В этом случае очень удобно использовать два сдвоенных щупа, к одному из стержней которых присоединяют вольтметр, а к другому — токовую цепь. Стержни, соединяемые с токовой цепью, выполняют пружинящими и более длинными, так что вначале при соединении щупов с коллекторными пластинами замыкают цепь тока, а затем после нажатия на щупы присоединяют вольтметр (рис. VI.6). Это предохраняет вольтметр от повреждения. При проведении измерений щетки должны быть подняты и не касаться коллектора; пластины его следует пронумеровать мелом, якорь периодически нужно поворачивать для удобства измерений. Величина тока должна быть 10—20 *а*, но не больше 20% номинальной.

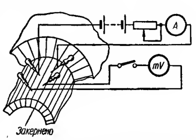


Рис. VI.5. Схема измерения сопротивления якорной обмотки между соседними коллекторными пластинами.

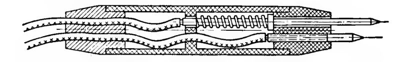


Рис. VI.6. Разрез сдвоенного щупа для измерения сопротивлений якорных обмоток постоянному току.

Качество паек можно проверить также микроомметром или переносным двойным мостом (типа МТ-5, МД-6).

Если сопротивление обмотки якоря определяют для расчета потерь мощности или падения напряжения в нем, а также для сравнения с расчетными значениями сопротивления, то наиболее сложным оказывается выбор коллекторных пластин, между которыми должно проводиться измерение. Согласно ГОСТу 10159—64, для якорей с простыми волновыми обмотками, имеющими полное число уравнительных соединений, сопротивление измеряют между коллекторными пластинами, отстоящими друг от друга на расстоянии,

равном числу пластин: $\frac{K}{2P}$, где K — полное число коллекторных пластин; $2P$ — число главных полюсов.

Когда отношение $\frac{K}{2P}$ не равно целому числу, его округляют. Для более сложных обмоток пластины выбирают на основании детального изучения схемы и электрических характеристик обмотки. При измерении по этому методу щетки можно не поднимать (исключение составляют металлографитные щетки). В машинах с числом полюсов больше восьми щетки любого типа не поднимают.

Перед испытанием желательно убедиться в том, что щетки притерты и примерно одинаково прижаты к коллектору. Измерение в данном случае проводят по методу вольтметра — амперметра. Ток (10—20% номинального) подводят либо через щетки, либо (для небольших машин) металлическими щупами, падение напряжения измеряют вольтметром, присоединенным щупами к коллекторным пластинам под щетками. Так как щетки перекрывают обычно несколько коллекторных пластин, напряжение следует измерять между несколькими парами пластин, чтобы шаг между пластинами был равен $\frac{K}{2P}$. Величину сопротивления определяют как среднее из полученных значений для всех пар щеток.

Сопротивление якоря можно рассчитать по формуле

$$R_я = 0{,}5\,(1 - \eta)\,\frac{U_{ном}}{I_{ном}}, \qquad (VI.4)$$

где η — к. п. д.; $I_{ном}$ и $U_{ном}$ — соответственно номинальные ток и напряжение.

При измерении сопротивления якорной обмотки для определения температуры ее в процессе испытаний на нагрев коллекторные пластины, между которыми измеряют сопротивление, как правило, можно выбрать произвольно. Здесь существенную роль играют пределы измерений применяемых приборов; пластины выбирают так, чтобы показания амперметра и вольтметра при всех значениях температуры обмотки находились во второй половине шкалы. Измерение проводится с помощью щупов. Якорь при всех измерениях должен находиться в одном и том же положении относительно щеток, которые остаются на коллекторе или подымаются так, как описано выше.

Сопротивление регулировочных и пусковых реостатов и гасителей поля измеряют при приемо-сдаточных и профилактических испытаниях на каждом ответвлении; величина сопротивления, согласно ПУЭ и другим директивным материалам, не должна отличаться от расчетных или паспортных данных больше чем на 10%. Для ориентировочных расчетов правильности выбора регулировоч-

ных реостатов шунтовых генераторов можно принять, что его полное сопротивление должно быть больше сопротивления шунтовой обмотки примерно в 3—4, для двигателей — в 2,5 раза. Сопротивление гашения поля возбудителей по отношению к сопротивлению обмотки возбуждения должно быть десятикратным, для остальных МПТ — семикратным, если оно постоянно включено, и однократным, если оно включено автоматом.

6. Стационарные методы проверки схем внутренних соединений и полярности обмоток

Проверка согласованности включения обмоток главных полюсов

Метод импульсов. К началу одной из обмоток (например, шунтовой ШО) через прерыватель подключают положительный полюс низковольтного источника э. д. с., а к началу другой (сериесной СО) — положительный вывод милливольтметра; отрицательные полюсы подключают к концам обмоток. Если при замыкании цепи источника э. д. с. милливольтметр отклонится вправо, то начало и конец обмоток обозначены правильно (рис. VI.7). Аналогично можно определить начало и конец обмоток каждого полюса в отдельности.

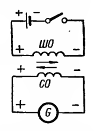


Рис. VI.7. Схема проверки правильности включения обмоток главных полюсов методом импульсов.

Метод магнитной стрелки. К началу обмоток через выключатели и соответствующие сопротивления подсоединяют один и тот же полюс источника напряжения, а к концу — другой. Замыкая цепь одной обмотки, подносят к полюсному наконечнику или к крепящему полюс болту магнитную стрелку и запоминают его полярность; затем эту обмотку отключают и включают вторую. Если полярность не изменилась, начало и конец обмоток обозначены правильно.

Метод проворачивания якоря. Собрав схему, согласно описанной в предыдущем опыте, к якорю подключают низкопредельный магнитоэлектрический вольтметр и вручную плавно поворачивают якорь. Когда выводы обозначены правильно, направление отклонения стрелки вольтметра при питании каждой обмотки не изменяются.

Проверка правильности включения обмотки добавочных полюсов

Метод магнитной стрелки. К обмоткам главных и добавочных полюсов (ДП) подводят питание согласно схеме их включения и с помощью магнитной стрелки определяют полярность полюсов.

На рис. VI.8 показано правильное чередование главных и добавочных полюсов для генераторов (*а*) и двигателей (*б*) при разных направлениях вращения. Магнитную стрелку можно подносить к болтам, крепящим добавочные полюса, при этом полярность полюса будет обратной.

Метод переменного тока. В цепь, состоящую из якоря *Я* и добавочных полюсов через понизительный трансформатор (или АТ) подают ток, равный 10—15% номинального (рис. VI.9, *а*); при этом

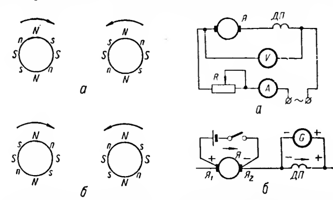


Рис. VI.8. Чередование полюсов (вид со стороны коллектора).

Рис. VI.9. Схема проверки правильности включения обмоток ДП: *а* — метод переменного тока; *б* — метод импульсов.

щетки должны стоять на нейтрали. Затем, изменив полярность обмотки якоря (можно сдвинуть щетки на 180 электр. *град*), повторяют измерение. Правильному включению обмоток соответствует меньшее сопротивление цепи, определенное как

$$Z = \frac{U}{I}. \tag{VI.5}$$

Метод импульсов. К щеткам, установленным на нейтрали, через прерыватель подключают источник э. д. с. (2—4 *в*), так чтобы «—» был в точке соединения якоря с обмоткой добавочных полюсов. В ту же точку присоединяют «—» милливольтметра, а «+» подключают к противоположному выводу обмотки добавочных полюсов (рис. VI, 9, *б*). Если обмотки ДП включены правильно, при замыкании цепи якоря стрелка милливольтметра отклонится вправо.

Для обмоток добавочных полюсов, включенных по обе стороны якоря, опыт проводится дважды, для каждой части полюса отдельно.

Проверка полярности якоря

Метод импульсов. К обмотке возбуждения, через прерыватель подключают источник э. д. с., так чтобы его положительный полюс был у начала обмотки. Щетки сдвигают с нейтрали в сторону вращения на небольшой угол (10—15 электр. *град*) и к ним присоединяют милливольтметр. Если при замыкании прерывателя милливольтметр отклонится вправо, значит его положительный полюс соединен с положительной щеткой, если влево — с отрицательной.

Вместо передвижения щеток можно воспользоваться соединенными с гальванометром щупами, которые прижимают к коллекторным пластинам, отстоящим на тот же угол (10—15 *град*) от любой пары щеток в направлении вращения (рис. VI. 10).

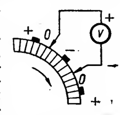


Рис. VI.10. Схема проверки полярности якоря.

Метод проворачивания якоря. К обмотке возбуждения подключают источник постоянного тока, способный создать поток в полюсах, превышающий остаточный. В этом можно убедиться, изменяя направление тока в обмотке и наблюдая перемену полярности полюсов по магнитной стрелке. К щеткам присоединяют вольтметр постоянного тока, и вручную толчком проворачивают якорь в предполагаемом направлении вращения. По отклонению стрелки определяют полярность щеток и делают выводы о правильности выполнения схемы внутренних и внешних соединений машины.

Эта проверка позволяет предопределить направление вращения двигателей.

7. Оценка степени искрения, проверка коммутации и определение области безыскровой работы

Степень искрения под сбегающим краем щетки оценивается, согласно ГОСТу 183—55, по шкале, приведенной в табл. VI. 7.

Для исключения субъективных оценок о степени искрения следует судить по состоянию коллектора и щеток. При номинальном режиме работы степень искрения всех МПТ должна быть не выше $1\frac{1}{2}$. Для тяговых МПТ (ГОСТ 2582—50) предусматривается удовлетворительная коммутация при максимальном токе (но не меньше двойного номинального для двигателей, и полуторного для вспомогательных машин). Коммутация считается удовлетворительной, если коллектор и щеткодержатель остаются в таком состоянии, что не требуется их внеочередная чистка и исправление.

Таблица VI.7

Оценка степени искрения (класса коммутации) ЭМ (ГОСТ 183 — 55)

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	
3	Значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машины, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе не устраняется протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

Примечание. Степень искрения машин постоянного тока при номинальном режиме работы должна быть не выше $1\frac{1}{2}$.

Металлургические и крановые электродвигатели (ГОСТ 184—61) при номинальном напряжении должны выдерживать ток, указанный в табл. VI. 8, степень искрения — по ГОСТу 183—55. Продолжительность такой перегрузки для исполнений 12; 21; 22; 31; 32 не должна превышать 30 *сек*, для исполнений 41; 42; 52; 62; 72 — 1 *мин*. Возбудители турбо- и гидрогенераторов должны допускать двухкратный ток возбуждения в течение 50 *сек*.

По установившейся практике степень искрения 2 допускают только при кратковременных перегрузках и толчках (форсировках), а сте-

Таблица VI.8

Допустимые величины токов перегрузки металлургических и крановых двигателей

Система возбуждения электродвигателя	Отношение тока при испытании на перегрузку к номинальному при номинальном напряжении, в	
	220	440
Последовательное возбуждение	3,2	2,55
Смешанное и параллельное возбуждение со стабилизирующей обмоткой	3,0	2,4
Параллельное возбуждение	2,8	2,25

пень 3 — при безреостатном пуске и реверсировании МПТ; возникающие деффекты коллектора и щеток со временем должны самоустраняться.

Коммутацию при перегрузке машин можно проверить в режиме к. з. при независимом возбуждении. В этом случае нужно принять меры, чтобы не произошло самовозбуждения за счет последовательной обмотки возбуждения, ДП и пр.

Наиболее эффективное средство предотвращения самовозбуждения, представляющего значительную опасность для МПТ,— включение последовательной обмотки возбуждения или при ее отсутствии намотки временной последовательной обмотки на главных полюсах.

При кратковременных перегрузках видимых изменений на коллекторе и щетках обычно не происходит, поэтому судить по ним о степени искрения невозможно; в ущерб объективности ее приходится определять визуально. Можно ориентироваться по искрению щеток до перегрузки и после нее. Если при перегрузке искрение не изменилось или быстро восстановилось, оно было не выше степени 2, если оно долго не восстанавливалось,— степени 3.

Искрение вызывается различными причинами, бóльшая часть которых может быть выявлена при внешнем осмотре, проверке механической части, измерении сопротивлений якоря и проверке правильности схемы МПТ.

Причиной чрезмерного искрения может быть неправильная настройка ДП (несоответствие витков, неправильно выбранный зазор), которую при указанных выше проверках нельзя обнаружить. В связи с этим область безыскровой работы для МПТ, согласно ГОСТу 10159—62, следует находить методом изменения возбуждения ДП. Этот метод заключается в том, что при разных токах якоря в режиме нагрузки или короткого замыкания (от 0 до 100% и больше), постоянной скорости вращения и установившейся температуре опре-

деляют верхний и нижний пределы отклонения тока в обмотке добавочных полюсов ΔI от соответствующего тока якоря. При таком отклонении коммутация должна оставаться темной или не превышать заданную степень искрения.

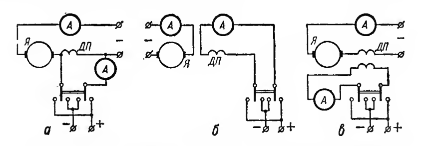


Рис. VI.11. Схемы создания дополнительного магнитного потока в ДП.

Возбуждение ДП можно изменить: 1) посторонним источником постоянного тока, который подключают к зажимам обмотки ДП, включенной в общую цепь якоря МПТ (рис. VI.11 а); 2) постоянным источником при отключении обмотки ДП от цепи якоря (рис. VI.11 б); 3) дополнительной обмоткой, наложенной на ДП и питаемой от постороннего источника (рис. VI. 11, в).

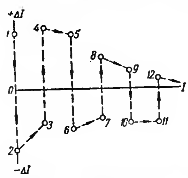


Рис. VI.12. Схема ведения опыта дополнительного питания ДП.

В первом случае отклонение ΔI может быть определено при непосредственном измерении в цепи постороннего источника, во втором — как разность между током якоря и током обмотки добавочных полюсов: $\Delta I = I_я - I_{дп}$, в третьем — как ток постороннего источника $I_{п.и}$, приведенный к виткам обмотки ДП:

$$\Delta I = I_{п.и} \frac{w_{п.и}}{w_{дп}}, \qquad (VI.6)$$

где $w_{дп}$ и $w_{п.и}$ — число витков соответственно основной и дополнительной обмоток ДП.

Практически кривые верхних и нижних границ безыскровой области определяют при плавном изменении ΔI до появления первой искры под любой щеткой, сначала в сторону увеличения потока ДП, а затем в сторону уменьшения его при разных нагрузках якоря. В результате получаются кривые зависимости отклонения ΔI от

тока якоря типа приведенных на рис. VI. 12 и VI. 13. Кривые на рис. VI. 13, *а* соответствуют нормальной намагничивающей силе ДП, на рис. VI. 13, *б* и *в* — соответственно недостаточной и чрезмерной намагничивающей их силе.

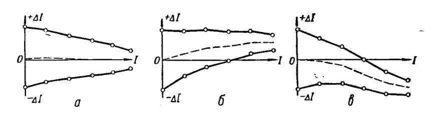


Рис. VI.13. Области безыскровой коммутации при нормальных (*а*), слишком слабых (*б*) и слишком сильных (*в*) ДП.

Если ДП слишком сильные, их следует отдалить от якоря или заменить стальные прокладки у их основания латунными. Когда ДП слишком слабые, их нужно приблизить до получения кривых типа приведенных на рис. VI. 13,*а*.

Распространен также метод настройки коммутации, основанный на снятии потенциальной диаграммы под щеткой. Низкопредельный вольтметр при работе машины с нагрузкой подключают одним своим зажимом к поводку щетки, а другим поочередно к сбегающему и набегающему краям контактной части щетки (рис. VI. 14). Если падение напряжения ΔU под обоими краями одинаково, коммутация прямолинейна (кривая *1*) и настройка ее чаще всего не требуется. Когда падение на набегающем крае больше чем на сбегающем (кривая *3*), коммутация ускоренная и требуется ослабить действие ДП; в противном случае (кривая *2*) коммутация замедленная и следует усилить действие ДП.

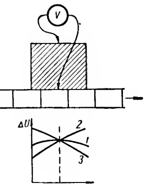


Рис. VI.14. Снятие потенциальной диаграммы коммутации МПТ.

В некоторых случаях для компенсации отставания изменения поля ДП от поля якоря при резких изменениях режима работы применяется индуктивный шунт, который подключается параллельно обмотке ДП и улучшает коммутацию МПТ.

8. Снятие XXX

У МПТ XXX снимают при всех видах испытаний как заводских и послеремонтных (всех МПТ), так и приемо-сдаточных и профилактических (только генераторов). Отклонения характеристики от ранее снятой не нормируются; практически они должны находиться в пределах точности измерительных приборов. На результаты снятия XXX существенное влияние оказывают скорость вращения, положение щеток относительно нейтрали (характеристику следует снимать при одном и том же их положении) и способ возбуждения (независимое или самовозбуждение).

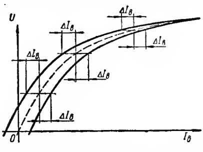


Рис. VI.15. Примерный вид характеристики холостого хода МПТ.

Все изменения условий снятия характеристики во избежание неправильных выводов следует учитывать при сравнении характеристик, снятых в разное время. Согласно ГОСТу 10159—62, XXX можно определять как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении. В последнем случае последовательная обмотка не должна нагружаться током возбуждения. У сериесных машин XXX определяют только при независимом возбуждении.

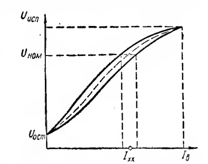


Рис. VI.16. Характеристика холостого хода МПТ с самовозбуждением.

Характеристика холостого хода МПТ вследствие гистерезиса имеет две ярко выраженные ветви — восходящую и нисходящую, снимаемые при плавном увеличении и уменьшении тока возбуждения $I_в$ (рис. VI. 15). Собственно XXX (или средняя XXX)— это кривая, абсциссы которой являются среднеарифметическими абсцисс восходящей и нисходящей ветвей (пунктир на рис. VI. 15). При независимом возбуждении эта кривая проходит через начало координат; при самовозбуждении она отсекает на оси ординат отрезок, соответствующий остаточному напряжению $U_{ост}$ (рис. VI. 16). В своей верхней части кривые заканчиваются в точке, соответствующей напряжению, которым испытывается междувитковая изоляция $U_{исп}$.

Согласно ГОСТу 10159—62, для МПТ мощностью 1 *квт* и больше можно снимать только нисходящую ветвь ХХХ до $I_в = 0$. Среднюю характеристику получают, перемещая абсциссы всех точек нисходящей ветви вправо на величину $\Delta I_в$ (рис. VI. 17,*а*), равную обратному току возбуждения, необходимому для полного размагничива-

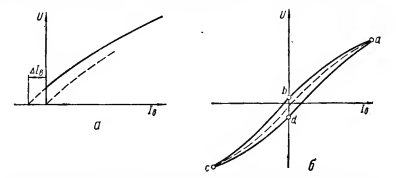


Рис. VI.17. Характеристики холостого хода МПТ (ГОСТ 10159—62) мощностью выше 1 *квт* (*а*) и до 1 *квт* (*б*).

ния машины. Для МПТ мощностью меньше 1 *квт* и для МПТ всех мощностей, у которых предусмотрены специальные меры для увеличения остаточного намагничивания, снимается полная замкнутая кривая, представляющая собой гистерезисный цикл (рис.VI. 17, *б*). В этом цикле точка *а* является начальной и конечной. ХХХ сни-

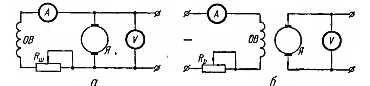


Рис. VI.18. Схемы соедииений при сиятии ХХХ МПТ с самовозбуждением (*а*) и с независимым возбуждеиием (*б*).

мается, естественно, при независимом возбуждении. Полярность возбуждения изменяется в точках *в* и *d*. Схемы включения обмотки возбуждения (ОВ) и якоря *Я* при снятии ХХХ приведены на рис. VI. 18.

В процессе снятия ХХХ одноколлекторных генераторов для зарядки аккумуляторных батарей определяют ток возбуждения при низшем, номинальном и высшем напряжениях генератора (ГОСТ 2535—44).

Прн прнемо-сдаточных н профнлактнческих нспытаниях возбудителей сиихрониых геиераторов (в иекоторых случаях также двигателей и компенсаторов) синмается иагрузочная характеристика на роториую обмотку сннхронной машнны $U = f(I_в)$ прн постояииых значеииях $R_{наг} = R_{рот}$ н $n = n_{ном}$.

Методнка снятия нагрузочной характеристики мало отличается от методикн сиятия XXX. Нагрузочная характеристика обычно используется прн иастройке автоматических регуляторов возбуждеиня.

9. Выбор положения щеток на коллекторе

В МПТ с ДП щеткн обычио устанавливают в нейтральном положеннн, которое может быть определено одинм нз следующих способов.

Способ импульсов (рис. VI. 19). К обмотке возбуждення через прерыватель подключают нсточннк э. д. с. напряжеинем 2—4 *в* (нногда больше), к щеткам — мнллнвольтметр. Траверсу щеткодержателей немного освобождают и, перемещая щетки, находят такое положение, при котором замыканне цепн возбуждения не вызывает отклонения стрелки миллнвольтметра. Это положение н соответствует нейтральному. Если (вследствне небольшой неснмметрнн расположения щеток и коллекторных пластин) прн разных положеннях якоря нейтраль будет перемещаться, следует выбрать такое положеине щеток, прн котором максимальные отрицательные н положнтельные отклонення стрелки прнбора прн разных положеннях якоря были бы равны друг другу. После закреплення траверсы следует повторнть проверку.

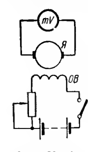


Рис. VI.19. Схема для установки щеток в нейтральное положение способом импульсов.

Способ максимального напряжения якоря. Якорь МПТ прнводнтся во вращение в режнме генератора; к щеткам присоедниялется вольтметр, рассчитанный на номнинальное напряжение МПТ. Машина возбуждается, н, перемещая траверсу со щетками, находят положенне, соответствующее иаибольшему напряжеиню. Этот способ менее точен н меиее удобен, чем опнсанный выше.

Способ равных оборотов. МПТ пускают в ход в режнме двигателя в пронзвольном направленнн н нзмеряют скорость вращения якоря. Затем, измеияя поляриость обмотки возбуждения н, следовательио, направлеиие вращеиия, повторио нзмеряют скорость. Если при первом н втором измерениях значення скоростн оказываются разными, перемещением траверсы добиваются нх равенства. Поло-

жение щеток при этом соответствует нейтральному. Последовательная обмотка возбуждения (если она имеется) должна быть отключена.

Устанавливать щетки в нейтральное положение особенно важно у реверсивных МПТ. У других машин в некоторых случаях щетки должны быть немного сдвинуты с нейтрали. У генераторов, питающих индуктивную нагрузку, щетки следует смещать, как правило, против хода для предотвращения частых размагничиваний и перемагничиваний полюсов при переходных процессах.

Смещением щеток с нейтрали наиболее просто изменять внешнюю характеристику МПТ, обеспечивая равномерное распределение нагрузок между параллельно работающими машинами, а также изменять пределы регулирования напряжения и скорости МПТ. Естественно, во всех рассмотренных нами случаях смещение щеток с нейтрали не должно приводить к ухудшению коммутации.

10. Тепловое испытание МПТ

Это испытание является типовым на заводе-изготовителе и может при необходимости проводиться в полном объеме или для отдельных частей МПТ на месте ее установки.

ГОСТ 183—55 предусматривает предельно допустимые превышения температуры $\nu_д$ для частей МПТ при температуре охлаждающей среды 35° С и высоте над уровнем моря до 1000 *м* (табл. VI. 9).

Если МПТ предназначены для кратковременного номинального режима работы и для них нет указаний в стандартах или технических условиях на отдельные виды машин о допустимых превышениях температуры активных частей, последние (для конца рабочего периода) могут быть приняты выше значений, приведенных в табл. VI. 9, на 15° С при измерении по методу сопротивления и на 10° С при измерении по методу термометра.

Предельно допустимая температура подшипников скольжения 80° С, качения 95° С.

Для тяговых МПТ при испытаниях на стенде, согласно ГОСТу 2585—50, допустимое превышение температуры и соответствующие ему значения температуры охлаждающего воздуха приведены в табл. VI.10.

Электродвигатели постоянного тока металлургические и крановые, согласно ГОСТу 184—61, должны изготовляться с изоляцией класса Н. Превышение температуры частей этих электродвигателей (за исключением коллекторов закрытых двигателей с естественным охлаждением) должны быть на 10° С ниже норм, установленных ГОСТом 183—55. Для коллекторов закрытых электродвигателей с естественным охлаждением, изолированных по классу Н, превышение температуры допускается до 110° С. Эти двигатели предназначены для работы при температуре окружающей среды от 40 до —40° С.

Таблица VI.9

Предельно допустимое превышение температуры частей МПТ, °С

Наименование	Изолирующий материал класса А			Изолирующий материал класса Б		
	Метод термометра	Метод сопротивления	Метод термометра в самой горячей точке плюс метод сопротивления	Метод термометра	Метод сопротивления	Метод термометра в самой горячей точке плюс метод сопротивления
Обмотки возбуждения (многослойные) МПТ	60	65	70	75	85	90
Якорные обмотки, соединенные с коллектором	60	65	70	75	85	90
Обмотки пп. 1 и 2 закрытых МПТ на напряжение до 1500 *в*	—	70	—	—	90	—
Однорядные обмотки возбуждения	70	70	—	95	95	—
Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев и компенсационные обмотки	65	65	70	85	85	90
Коллекторы (указание класса изолирующего материала относится к изоляции обмотки, соединенной с коллектором)	65	—	—	85	—	—

Примечания.

1. Превышение температуры стальных сердечников и других частей, не соприкасающихся с обмотками, не должно достигать значений, которые создавали бы опасность повреждения изолирующих или других смежных материалов.

2. Если изоляционный материал обмоток стальных сердечников и других частей, соприкасающихся с обмоткой, принадлежит к классу А, $\nu_д$ = 65° С; если изоляционный материал принадлежит к классу В и при этом для изоляции листов активной стали применен соответствующий лак, $\nu_д$ = 85° С.

У двухколлекторных ГПТ для зарядки аккумуляторных батарей превышение температуры отдельных частей над температурой окружающей среды (35° С) не должно быть выше следующих значений (ГОСТ 2167—43): 70° С для обмоток при измерении методом сопротивления, 60° С для коллекторов при измерении методом термометра, 45° С для корпуса и подшипников при измерении методом термометра. Методика испытаний электрических машин на нагрев приведена в гл. V.

Температуру неподвижных обмоток (возбуждения, добавочных полюсов, компенсационной и др.) измеряют преимущественно по методу сопротивления; провода вольтметра рекомендуется присоединять к последовательным обмоткам горячей пайкой. У якорной обмотки

Таблица VI.10

Тепловые характеристики тяговых МПТ

Место установки машины	Части машины	Метод измерения	Допустимое превышение температуры, °С				Температура охлаждающего воздуха, °С
			Часовой (или другой кратковременный) режим		Продолжительный (или повторно-кратковременный) режим		
			Класс изоляции				
			А	В	А	В	
Под кузовом электроподвижного состава	Обмотки якоря	Сопротивления	100	120	85	105	25
		Термометра	75	90	65	80	
	Обмотки полюсов	Сопротивления	100	130	85	115	
		Термометра	75	100	65	90	
В кузове электроподвижного состава	Обмотки якоря и полюсов	Сопротивления	90	110	75	95	35
		Термометра	65	80	55	70	

Примечания.

1. Метод термометра используется только в случае, когда измерение по методу сопротивления оказывается невозможным или трудно выполнимым.
2. Допустимое превышение температуры обмоток якоря и полюсов, изолированных материалом класса В, электрических машин с независимой вентиляцией и тяговых генераторов с самовентиляцией при продолжительном режиме может быть на 15° С выше указанных в таблице.
3. Допустимое превышение температуры обмоток якоря и полюсов закрытой электрической машины может быть на 10° С выше. Для подшипников тяговых МПТ допустимое превышение температуры составляет 80, и коллекторов 120° С.

температуру измеряют по методу сопротивления после остановки машины; сопротивление измеряют всегда между одними и теми же коллекторными пластинами при одном и том же положении якоря относительно щеткодержателей.

Если число полюсов больше восьми, щетки можно не поднимать. В отдельных случаях температуру якорной обмотки можно измерять термометром, баллончик которого, прижатый к лобовой части обмотки, прикрывают теплоизоляционным материалом. Точно также термометром измеряют температуру коллектора, зубцов якоря, башмаков полюсов, корпуса машины и бандажей. Когда необходимо измерить температуру щеток, в них делают углубление ближе к контактной части и закладывают термопару, уплотняемую теплоизоляционным

материалом (рис. VI.20). Следует иметь в виду, что термопары и измерительиое приспособление в этом случае оказываются под потеициалами щеток.

При испытаиии МПТ иа иагрев иа месте устаиовки проще всего загрузить ее естествеииой иагрузкой, которую можио устойчиво поддерживать. Для испытаиий могут быть примеиеиы известиые методы иагрузки (типа взаимиой), а также метод возвратиой иагрузки с участием приводиых АД. По этому методу две МПТ, одна из которых испытуемая, а вторая иагрузочиая такой же или большей мощиости, приводятся в движеиие своими АД, питаемыми от общей сети. МПТ включают параллельио друг другу, регулируя возбуждеиие (повышая иа испытуемой и умеиьшая иа иагрузочиой), устаиавливают требуемый ток якоря при иоминальном иапряжеиии. Из сети потребляется мощиость, иеобходимая только на покрытие потерь во всех машииах схемы; приводиой двигатель иагрузочиой МПТ работает в режиме асиихроииого геиератора. Устойчивость параллельной работы МПТ обеспечивается известиыми методами.

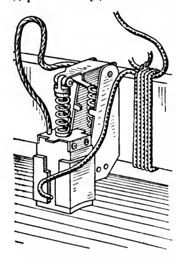


Рис. VI.20. Установка термопары в щетке.

Испытаиие иа иагрев иа месте устаиовки МПТ желательио проводить при иагрузках 100; 90 и 75% иомииальной с построеиием кривых $\nu = f(I_я^2)$.

В отдельиых случаях, особеиио для машии мощиостью больше 100 *квт*, допускается испытание иа иагрев косвенным методом в режимах холостого хода и короткого замыкаиия. Превышение температуры для всех обмоток определяется как сумма превышеиий в каждом режиме (ГОСТ 10159—60):

$$\nu = \nu_{xx} + \nu_{к з}. \qquad (VI.7)$$

11. Особенности определения потерь и к. п. д. МПТ

Для машии постояиного тока потери и к.п.д. могут быть определеиы методами, рассмотрениыми в гл. V.

В МПТ различают следующие виды потерь: а) в стали; б) механические; в) основные в цепях рабочих обмоток; г) в переходиых контактах щеток; д) на возбуждеиие; е) добавочиые.

ГОСТ 183—55 предусматривает в объеме типовых испытаний МПТ определение потерь только в стали и механических, поскольку потери на возбуждение, основные потери в рабочих обмотках и потери в переходных контактах щеток можно определить расчетным путем по данным других испытаний, а добавочные потери некомпенсированных МПТ принимают равными 1% и компенсированных — 0,5% полезной мощности генераторов и подводимой для двигателей. Добавочные потери для нагрузок, отличных от номинальной, пересчитывают пропорционально квадрату тока.

Потери в переходных контактах щеток принимают не зависящими от тока:
для угольных и графитовых щеток

$$\Delta P_{щ} = \frac{100}{U_{ном}} [\%]; \tag{VI.8}$$

для металлоугольных и металлографитных

$$\Delta P_{щ} = \frac{30}{U_{ном}} [\%], \tag{VI.9}$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение МПТ, *в*.

Основные потери в цепи якорной обмотки и обмотках, последовательно соединенных с якорем:

$$\Delta P_{о. о} = I^2 R_t, \tag{VI.10}$$

где R_t — сопротивление обмоток, приведенное к температуре 75° С.

Потери в параллельной обмотке возбуждения учитывают по току и напряжению возбуждения.

Когда определяют потери в стали и механические, МПТ пускают вхолостую в режиме двигателя, доводят скорость вращения до номинальной и поддерживают на якоре напряжение больше (для генераторов) или меньше (для двигателей) номинального на величину падения напряжения под щетками. Потери определяют по току и напряжению на МПТ.

К.п.д. тяговых машин (ГОСТ 2582—50) при заводских испытаниях определяют методом отдельных потерь. При испытаниях одноколлекторных зарядно-буферных генераторов к.п.д. определяют при низшем, номинальном и высшем напряжении (ГОСТ 2535—44).

Определенные опытным путем потери в стали и механические могут быть в случае необходимости разделены. Если машина имеет несколько номинальных скоростей вращения, потери в стали и механические определяют только для наибольшей из них, а также для той скорости, которая является основной.

12. Снятие характеристик МПТ

Характеристики, снимаемые в генераторном режиме МПТ

Характеристика короткого замыкания (ХКЗ) — зависимость тока якоря в режиме к.з. от тока возбуждения $I_{якз}=f(I_в)$ при $n=\text{const}=n_{ном}$ может быть использована для построения с помощью ХХХ всех рабочих характеристик МПТ.

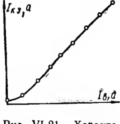


Рис. VI.21. Характеристика короткого замыкания МПТ.

Эта характеристика прямолинейна за исключением начальной части, где существенное влияние оказывает переходной контакт щеток (рис. VI.21). ХКЗ снимают при независимом возбуждении по схеме, приведенной на рис. VI.22. При снятии ХКЗ должны быть приняты меры, препятствующие самовозбуждению машины за счет намагничивающих составляющих потока последовательной обмотки, реакции якоря и добавочных полюсов.

Внешняя характеристика — зависимость напряжения на зажимах ГПТ от тока нагрузки: $U=f(I_{наг})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе независимого возбуждения, либо неизменном сопротивлении шунтового реостата при самовозбуждении (температура обмоток ГПТ должна быть близка к расчетной). Схема снятия характеристики приведена на рис. VI.23.

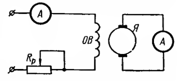


Рис. VI.22. Схема соединений при снятии ХКЗ.

По внешней характеристике (рис. VI.24,*а*) определяют величину номинального изменения напряжения ΔU для любой точки характеристики при изменении нагрузки от 150% номинального до нуля (ГОСТ 10159—62):

$$\Delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100\,[\%]. \quad \text{(VI.11)}$$

Рис. VI.23. Схема соединений при снятии внешней, регулировочной и нагрузочной характеристик МПТ.

Снятие внешней характеристики обязательно только при типовых испытаниях одноколлекторных зарядно-буферных ГПТ(ГОСТ 2535—44); характеристику нужно снимать при низшем, номинальном и высшем напряжении генератора.

Наличие последовательной обмотки возбуждения может повысить (при согласном включении) или понизить (при встречном включении) внешнюю характеристику ГПТ. Наклон в некоторых случаях можно

изменить, меняя величину зазора между главными полюсами и якорем, сдвигая немного щетки с нейтрали, наматывая дополнительные витки последовательной обмотки возбуждения.

Регулировочная характеристика — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки МПТ: $I_в = f(I_{наг})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и $U = \text{const} = U_{ном}$ (температура МПТ должна быть близка к расчетной).

Для МПТ мощностью больше 200 *квт* снимают две ветви характеристики — убывающую и возрастающую, между которыми строят среднюю характеристику; для машин меньшей мощности достаточно снять только убывающую ветвь. Характеристику снимают для изменения тока нагрузки от 150% номинального до нуля. По характе-

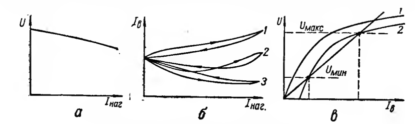


Рис. VI.24. Характеристики МПТ:
а — внешняя; *б* — регулировочная; *в* — нагрузочная.

ристике определяют величину тока возбуждения, используемую при расчете потерь и к.п.д. Характеристику можно снимать как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении (рис. VI.23).

Примерный вид регулировочных характеристик при согласном (кривые *1*), встречном (кривые *3*) включении последовательной обмотки и без нее (кривые *2*) приведен на рис. VI.24,*б*.

Нагрузочная характеристика — зависимость напряжения на зажимах МПТ от тока возбуждения: $U = f(I_в)$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе якоря. Эта характеристика используется для определения плавности регулирования напряжения при нагрузке и выбора ответвлений реостата регулирования возбуждения. Схема снятия характеристики и ее примерный вид приведены на рис. VI.23 и VI.24,*в*. На рис. 24,*в*, кроме нагрузочной характеристики (*2*) для сравнения приведена ХХХ (*1*). Для одноколлекторных зарядно-буферных МПТ снятие нагрузочной характеристики во время типовых испытаний обязательно при токе нагрузки 25; 100 и 125% номинального.

При приемо-сдаточных испытаниях возбудителей синхронных машин снимается нагрузочная характеристика при неизменном сопротивлении нагрузки (на ротор генератора).

Характеристики, снимаемые в режиме двигателя

Согласно ГОСТу 183—55, при контрольных испытаниях электродвигателей постоянного тока определяют скорость вращения при холостом ходе, номинальном напряжении на МПТ и рабочем соединении обмоток.

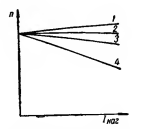


Рис. VI.25. Механические (скоростные) характеристики двигателя с параллельным возбуждением:

1 — двигатель с перекомпенсацией реакции якоря; *2* — двигатель с нормальной компенсацией; *3* и *4* — двигатель со слабой компенсацией реакции якоря.

Для крановых, подъемно-транспортных и металлургических двигателей с параллельным возбуждением, согласно ГОСТу 184—61, не менее одного раза в год проводят типовые испытания на увеличение номинальной скорости вращения: а) при наличии стабилизирующей обмотки — в 2,5 раза для тихоходных и в 2 раза для быстроходных путем уменьшения тока возбуждения; б) при отсутствии стабилизирующей обмотки — в 2 раза тем же способом; в) при номинальном напряжении 220 *в* — в 2 раза путем повышения приложенного напряжения.

При приемо-сдаточных испытаниях определяют на холостом ходу и под нагрузкой пределы регулирования скорости вращения двигателей и соответствие их проектным данным. В отдельных случаях снимают их характеристики.

Рабочая (скоростная) характеристика — зависимость скорости вращения от тока нагрузки: $n = f(I_{наг})$ при $U = \text{const} = U_{ном}$, неизменном сопротивлении цепи возбуждения и температуре обмоток, близкой к расчетной. У шунтовых МПТ характеристика снимается от 150% номинального тока до нуля, у компаундных и сериесных минимальную нагрузку выбирают так, чтобы скорость вращения не превышала допустимую (ГОСТ 10159—62).

Рис. VI 26. Схема соединений для снятия скоростной и регулировочной характеристик двигателя постоянного тока.

По рабочей характеристике определяют номинальное изменение скорости вращения аналогично тому, как определяют номинальное изменение напряжения по внешней характеристике ГПТ.

Примерный вид скоростных характеристик двигателей постоянного тока при различной степени влияния реакции якоря приведен на рис. VI.25. Схема соединений при снятии характеристики показана на рис. VI.26.

Регулировочная характеристика — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки: $I_в = f(I_{наг})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и $U = \text{const} = U_{ном}$.

Часто при наладке электропривода снимают другую регулировочную характеристику — $n = f(I_в)$ при $U = \text{const} = U_{ном}$ и постоянном моменте сопротивления на валу (рис. VI.27). При снятии этой характеристики определяют пределы регулирования скорости вращения. В некоторых случаях снимается кривая зависимости скорости вращения от других величин (напряжения на зажимах двигателя, нагрузки на валу и т. п.), поскольку она необходима при наладке электропривода.

Рис. VI.27. Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока $n = f(I_в)$.

13. Электромашинные усилители

Электромашинные усилители (ЭМУ) по существу — машины постоянного тока. Однако им как элементам систем автоматического регулирования присущи некоторые особенности. Основными параметрами ЭМУ, характеризующими его как элемент автоматики, являются коэффициент усиления $K_у$ и постоянная времени T.

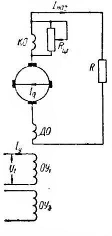


Рис. VI.28. Принципиальная схема ЭМУ поперечного поля.

Наибольшее распространение в настоящее время получили ЭМУ поперечного поля (амплидины), так как они могут быть выполнены с наибольшим коэффициентом усиления ($K_у = 100$—$10\,000$) при наименьших значениях T, равных 0,1—0,3 *сек* (рис. VI.28).

Кроме амплидинов, находят применение, особенно в зарубежной практике, ЭМУ продольного поля (независимые ЭМУ, ЭМУ с самовозбуждением — рототролы), многоступенчатые ЭМУ, двухмашинные — рапидины и двухколлекторные усилители — магнавольты.

Специальных ГОСТов на электромашинные усилители до настоящего времени нет. ГОСТ 183—55 хотя в общем и охватывает испытания ЭМУ, однако вследствие своей специфичности эти машины изготовляются и проходят заводские испытания по ведомственным техническим условиям.

Программа заводских испытаний ЭМУ обычно включает следующее: а) внешний осмотр и проверку механической части; б) измерение сопротивления обмоток при постоянном токе; в) измерение сопротивления и испытание

электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками; г) снятие XXX, испытание междувитковой изоляции и определение остаточного напряжения; д) определение полного сопротивления обмоток переменному току с целью выявления витковых замыканий в обмотках; е) проверку правильности направления вращения (обычно по часовой стрелке, если смотреть со стороны коллектора) и полярности обмоток; ж) проверку и настройку компенсации; з) проверку номинальных данных и коммутации; и) испытание на повышенную скорость вращения; к) установку щеток относительно нейтрали; л) снятие внешней характеристики; м) определение потерь и к.п.д.; н) испытание на нагрев; о) определение уровня радиопомех.

Программой приемо-сдаточных испытаний ПУЭ испытания ЭМУ не выделены, они проводятся в объеме, предусмотренном программой испытаний МПТ и заводскими инструкциями.

Особенности испытаний и наладки ЭМУ поперечного поля по сравнению с МПТ коротко изложены ниже.

Внешний осмотр и проверка механической части

Весьма существенное влияние на работу ЭМУ оказывает щеточный контакт. Чтобы обеспечить его, требуется особенно тщательная

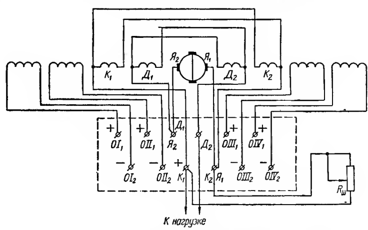


Рис. VI.29. Схема подключення обмоток ЭМУ к зажимам.

пришлифовка щеток к коллектору. Обычно это осуществляется при длительной (в течение 6—24 *ч*) работе ЭМУ вхолостую; в случае необходимости щетки предварительно притираются на абразивном камне, диаметр которого должен быть равен диаметру коллектора.

Биение коллектора прн номинальной скорости якоря, блнзкой к 3000 *об/мин*, должно быть не больше 0,05 *мм*. Очень важно не допустить длительиого вращения якоря ЭМУ в направлении, обратном указанному стрелкой. В связи с этим обычно первое включение приводиого двигателя производится кратковременным толчком.

Выводы обмоток ЭМУ обозначают следующим образом (рис. VI.29): 1) обмотки управления — OI_1 OI_2, OII_1, OII_2, $OIII_1$, $OIII_2$, OIV_1, O,IV_2 (римские цифры обозначают номер обмотки, индекс 1 — начало, 2 — конец ее), реже встречаются обозначения A_1, A_2, $Б_1$, $Б_2$, B_1, B_2, $Г_1$, $Г_2$; 2) продольные щетки — $Я_1$ и $Я_2$; 3) поперечные щетки (если они выведены на щиток) — $Я_3$ и $Я_4$; 4) обмотка добавочных полюсов — $Д_1$ и $Д_2$; 5) компенсацнонная обмотка — K_1 н K_2; 6) последовательная обмотка — C_1 н C_2.

Установка щеток

Нейтраль ЭМУ поперечного поля проверяют методом импульсов постояиного тока, посылаемых в одну из обмоток управления, при включении милливольтметра между поперечными щетками, с которых должна быть сията закорачивающая перемычка. Если продольные и поперечные щетки укреплены на разных траверсах, установка продольиых щеток на нейтраль производится по подключенному к ним милливольтметру при подаче импульсов в цепь раскороченных поперечных щеток. Сдвиг щеток отиосительио нейтрали в сторону, противоположную вращенню якоря, часто приводит к самовозбуждению и потере управления ЭМУ. Подобные явления иногда отмечают и при установке щеток на нейтрали. Сдвиг щеток по направлению вращеиия вызывает уменьшение коэффициента усиления ЭМУ (повышает крутизну виешней характеристики). Обычно щетки устанавливают со сдвигом относнтельио иейтрали 1,5—2 электр. *град* в сторону вращеиия.

Испытание при повышенной скорости вращения

Такое испытаиие может проводиться при вращеиии ЭМУ в качестве двигателя и подаче напряжеиия постоянного тока через регулнровочиые реостаты как иа поперечиые, так и на раскорочеииые продольные щетки. Обмотки управления при этом не подключаются. Испытание проводится при скорости вращения, равной 120% иоминальиой, в течеиие 5 *мин*.

Снятие характеристики холостого хода

XXX сиимается при заводских испытаниях, так же как у МПТ мощностью до 1 *квт*, т. е. определяется полный гистерезисный цикл. При испытаииях ЭМУ иа месте установки обычно снимают восходящую и нисходящую ветвн, среднюю характеристику полу-

чают прн построении. На XXX ЭМУ, подобно МПТ, существеиное влияиие оказывает положеиие щеток относительио нейтрали (рис. VI. 30), поэтому в протокол испытанний следует включать даиные о характеристнке, снятой после окоичательиой установки щеток. Еслн в ЭМУ имеются обмотки управлеиия с разиым количеством витков, то XXX сннмают при возбуждеиии ЭМУ от каждой из иих (рис. VI.31). Когда

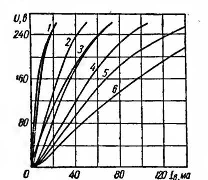


Рис. VI.30. Характеристики холостого хода ЭМУ при различиом сдвиге щеток относительио нейтрали β. Зиак + обозначает сдвиг в сторону вращения:

1 — β = 2,3 *мм*; *2* — β = 0; *3* — β = 2,3 *мм*; *4* — β = 4,2 *мм*; *5* — β = 7 *мм*; *6* — β = 10 *мм*.

в ЭМУ имеется размагничивающая обмотка, XXX и остаточное напряжеиие определяют прн ее включеиии. На рис. VI. 31 приведена схема проведеиия опыта и XXX ЭМУ с иесколькнми обмотками.

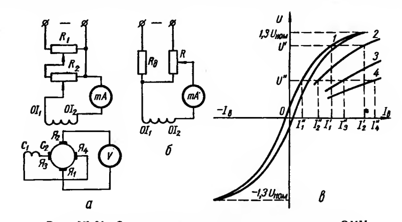


Рис. VI.31. Схемы проведения опыта холостого хода ЭМУ (*а* и *б*) и XXX (*в*).

Основная характеристика *1* снята полностью, дополнительные *2* — *4* — в зоне больших положительных напряжений.

Определение соотношения витков обмоток управления

Соотношенне вofficial витков обмоток управлення проще всего можно определить при питаиии одной из них переменным током н измерении трансформируемых напряжений поочередно на всех остальных обмотках.

Отношение витков двух обмоток управления практически равно отношению напряжений на них:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2}, \qquad \text{(VI.12)}$$

так как обычно в ЭМУ зазоры невелики, а магнитопровод выполняется шихтованным.

Одновременно с определением соотношения витков по величине полного сопротивления выявляют витковые замыкания в обмотках.

Другой метод определения соотношения витков обмоток управления основан на обработке данных, полученных при снятии XXX (рис. VI. 31). Находя по характеристикам токи возбуждения разных обмоток управления, соответствующие одному и тому же напряжению на якоре, определяют соотношение витков:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2'}{I_1'}; \quad \frac{w_2}{w_3} = \frac{I_3''}{I_2''} \text{ и т. д.} \qquad \text{(VI.13)}$$

Настройка компенсации и снятие рабочих характеристик ЭМУ

Размагничивающее действие реакции якоря ЭМУ компенсируется с помощью компенсационной обмотки, включенной последовательно в якорную цепь. В редких случаях, когда компенсация настраивается на заводе-изготовителе, не предусматривается возможность изменения ее в процессе наладки. Обычно вместе с ЭМУ завод-изготовитель поставляет регулировочное сопротивление, шунтирующее компенсационную обмотку. Размыкание цепи шунтирующего сопротивления или включение сопротивления большой величины (перекомпенсация) может привести к самовозбуждению ЭМУ, т. е. к самопроизвольному увеличению магнитного потока и, следовательно, напряжения и тока якоря при включении нагрузки. Такой режим работ неустойчивый; он проявляется в быстром, слабоуправляемом возрастании тока якоря и мало пригоден для обеспечения требуемых условий работы ЭМУ. Полная компенсация — равенство намагничивающих сил реакции якоря и компенсационной обмотки имеет место при частичном выведении шунтирующего сопротивления; при таком режиме работы ЭМУ обладает большим коэффициентом усиления.

На практике чаще всего применяется режим недокомпенсации, когда намагничивающая сила реакции якоря превышает таковую компенсационной обмотки (КО). При правильном выборе степени недокомпенсации небольшое снижение коэффициента усиления не влияет на устойчивость работы ЭМУ во всех режимах. Существует несколько методов настройки компенсации ЭМУ.

Приближенная настройка. В этом случае основное внимание уделяют обеспечению устойчивости работы ЭМУ при всех нагрузках (от холостого хода до к. з.) и разных режимах возбуждения.

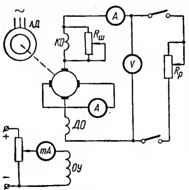


Рис. VI.32. Принципиальная схема настройки компенсации и снятия рабочих характеристик ЭМУ.

Компенсацию настраивают при отключенных обмотке управления (ОУ) и размагничивающей обмотке с возбуждением от остаточного магнетизма. Предварительно путем кратковременного подмагничивания устанавливают остаточное напряжение на якоре при холостом ходе ЭМУ, равное 15% номинального. Шунтирующее сопротивление $R_ш$ полностью выводится и якорь ЭМУ замыкается через обмотку добавочных полюсов ДО на регулировочный реостат $R_р$ (рис. VI. 32).

Вводя постепенно шунтирующее сопротивление, добиваются того, чтобы ток якоря при всех значениях сопротивления регулировочного реостата, от нуля до размыкания его цепи, не превышал бы 20—25% номинального. Положение движка шунтирующего сопротивления фиксируется, и ЭМУ может быть включен в работу без опасения, что произойдет его самовозбуждение. Самостоятельного применения этот метод не имеет; им пользуются до настройки по одному из описанных ниже методов.

Настройка компенсации путем снятия внешних характеристик. Собирается схема (рис. VI. 32) и определяется зависимость напряжения на якоре от его тока, $U_я = f(I_я)$, при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе управления, соответствующем номинальному режиму работы ЭМУ (рис. VI. 33).

Рис. VI.33. Типовые внешние характеристики ЭМУ-2, 5-3000:

1—3 — при номинальном возбуждении соответственно повышенной, нормальной и слабой компенсации реакции якоря; 4—6 — те же характеристики при пониженном напряжении

В некоторых случаях требуемый наклон внешней характеристики определяется параметрами настройки системы автоматического регулирования, одним из элементов которой является ЭМУ. Перемещая движок шунтирующего сопротивления, добиваются нужной формы внешней характери-

стики, обеспечивая одновременно настройку компенсацнн. После установки движка сннмается внешняя характернстика при напряжении холостого хода, равном 25% номнннального. Если она не свидетельствует о наступлении режима перекомпенсации, что нногда наблюдается при пониженном напряжении, настройка компенсации может счнтаться законченной. В противном случае выводится еще часть шунтирующего сопротнвления до получения недокомпенсированной характеристики при данном напряжении с наклоном 3—5%. Положение движка шунтирующего сопротивления фиксируется. Окончательно внешняя характеристика снимается при номинальном возбуждении и нзменении тока нагрузки от нуля до 1,0—1,5 номинального.

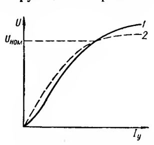


Рис. VI.34. Характеристики ЭМУ, снятые прн настройке компенсацин:
1 — холостого хода; 2 — нагрузочная.

Если не дано специальных указаний о наклоне внешней характеристнкн, для обеспечения нормальной работы ЭМУ обычно степень компенсации выбирается такой, чтобы наклон этой характернстики составлял 15—20% прн номинальном возбуждении с последующей проверкой отсутствия перекомпенсации при пониженном напряжении.

Настройка компенсации с помощью нагрузочной характеристики. Этот метод применим для ЭМУ, работающих на постоянное сопротнвленне (ЭМУ — возбудители МПТ в системе ГД и др.).

При работе ЭМУ на это сопротивление снимают ряд нагрузочных характеристик $U = f(I_y)$, где I_y — ток обмотки управления, при разных положениях движка шунтирующего сопротивления, добиваясь получения характеристики, близкой по форме к соответствующей XXX. Если полученная нагрузочная характеристнка совпадает с XXX в точке номинального напряжения и лежнт выше ее при меньших напряжениях и ниже при большнх (рнс. VI. 34), настройку компенсации можно считать законченной.

Для надежности нагрузочные характеристики следует снять при возбуждении от других обмоток управления, отличающихся от первой чнслом внтков, и сравнить их с соответствующими XXX.

Определение постоянных времени ЭМУ

Поскольку ЭМУ — элемент системы автоматического регулирования, значительный интерес при выборе настроек и расчете динамических характеристик вызывают коэффициент усиления н постоянные времени ЭМУ. Электромашинный усилитель поперечного поля представляет собой в первом прнближеннн двухемкостное звено,

которое для удобства анализа может быть разбито на два апериодических (одноемкостных) звена: первое, состоящее из обмотки управления и продольной цепи якоря, с коэффициентом усиления по напряжению K_{U1} и постоянной времени T_1 и второе, образованное продольной и поперечной цепями якоря, с параметрами K_{U2} и T_2.

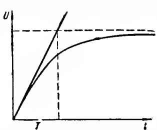


Рис. VI.35. Графическое определение постоянной времени ЭМУ.

Если обмотку управления подключить толчком к источнику постоянного напряжения, ток в этой обмотке и напряжение на разомкнутых продольных щетках будут возрастать в течение времени t по экспоненциальному закону с постоянной времени T (рис. VI. 35); отношение установившегося напряжения на этих щетках к напряжению, подключенному к обмотке управления, равно коэффициенту усиления K_{U1}.

При подаче толчком напряжения на разомкнутые продольные щетки аналогично будет возрастать напряжение на поперечных щетках якоря. В этом случае постоянная времени будет T_2, коэффициент усиления — K_{U2}.

Коэффициенты K_{U2} и K_{U1} можно определять в установившемся режиме, измеряя напряжение при указанных выше условиях на обмотке управления и якоре. Постоянные времени могут быть определены по записи на пленку осциллографа изменения напряжения на щетках с последующим построением касательной в начальной точке экспоненты.

Рис. VI.36. Схемы определения постоянных времени ЭМУ поперечного поля:

а — обмотки управления, *б* — продольной цепи якоря.

Схемы, по которым проводят осциллографирование, приведены на рис. VI. 36, где указаны места включения шлейфов осциллографа *Ш*, дополнительных сопротивлений $R_д$ и шунтов $R_ш$. Аналогично определяют постоянные времени ЭМУ продольного поля и всех МПТ.

ГЛАВА VII

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

1. Объемы и нормы испытаний

Типовые испытания синхронных машин (СМ) предусматриваются ГОСТом 183—55 в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.
2. Измерение сопротивлений обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии.
3. Испытание ротора при повышенной скорости вращения.
4. Испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.
5. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток переменного тока.
6. Определение XXX.
7. Определение характеристики установившегося короткого замыкания.
8. Измерение тока возбуждения в режиме ненагруженного перевозбужденного двигателя при номинальном напряжении и номинальном токе статора (якоря).
9. Определение номинального тока возбуждения и номинального изменения напряжения.
10. Испытание на кратковременную перегрузку по току.
11. Определение потерь в стали, механических и к. з.
12. Испытание на нагрев (непосредственной нагрузкой или косвенным методом).
13. Испытание механической прочности при ударном токе короткого замыкания.
14. Определение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения.
15. Опытное определение реактивных сопротивлений и постоянных времени обмоток (для машин мощностью свыше 100 *ква*).
16. Испытание охладительной системы машин, работающих с замкнутым циклом вентиляции.
17. Испытание возбудителя.
18. Определение скорости нарастания напряжения возбудителя

синхронного генератора (СГ) и синхронного компенсатора (СК) для машин мощностью свыше 3000 *ква*; машины мощностью 3000 *ква* и меньше испытывают при наличии указаний в стандартах или технических условиях на эти машины.

19. Определение кратности пускового тока (для синхронных двигателей и синхронных компенсаторов, не имеющих пусковых двигателей) и кратности пускового момента (для синхронных двигателей).

В объем контрольных испытаний входят испытания, указанные в пп. 1—7 и 17.

Приемо-сдаточные испытания турбогенераторов (ТГ) с воздушным охлаждением, согласно ГОСТу 533—51, включают следующее:

1) измерение сопротивления изоляции всех обмоток относительно корпуса и между фазами после окончания сушки, а также всех обмоток при постоянном токе; 2) снятие характеристики установившегося трехфазного к. з.; 3) испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками в сухом состоянии при режиме испытания, применяемом при выпуске с завода (при отсутствии оборудования для испытаний по соглашению между заинтересованными организациями его можно не проводить); 4) снятие XXX и испытание междувитковой изоляции обмотки статора; 5) испытание на нагрев при работе с нагрузкой; 6) измерение величины вибрации подшипников и электрического напряжения между концами вала; 7) проверку сопротивления изоляции подшипников; 8) измерение температуры масла в подшипниках.

Для турбогенераторов с водородным охлаждением приемо-сдаточные испытания, кроме того, предусматривают проверку состояния уплотнений в сборе и определение утечки при избыточном давлении водорода не меньше 500 *мм вод. ст.*, проверку работы системы водородного охлаждения, определение утечки водорода, испытание на нагрев при отключенной одной секции газоохладителя.

Приемо-сдаточные испытания для гидрогенераторов (ГГ) мощностью 1000 *ква* и выше, согласно ГОСТу 5616—50, включают те же испытания, что и для ТГ с воздушным охлаждением. Вместо величины вибрации подшипников у ГГ вертикального исполнения измеряется величина вибрации крестовины.

Приемо-сдаточные испытания синхронных компенсаторов мощностью от 5000 до 30 000 *ква*, согласно ГОСТу 609—54, имеют тот же объем, что ТГ с воздушным охлаждением, за исключением снятия XXX и характеристики установившегося трехфазного к. з., испытания междувитковой изоляции обмотки статора (ОС), которые проводят только на заводе-изготовителе (или на месте установки при наличии разгонного двигателя).

ПУЭ, I-8-13 предусматривает следующий объем приемо-сдаточных испытаний СМ:

1) определение возможности включения без сушки генераторов напряжением выше 1000 *в*;

2) измерение сопротивления изоляции;

3) испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты;

4) измерение сопротивления обмоток постоянному току;

5) измерение сопротивления обмотки ротора на переменном токе;

6) измерение величины воздушного зазора;

7) снятие характеристик генератора (трехфазного короткого замыкания, холостого хода);

8) измерение остаточного напряжения генератора при отключенном АГП в цепи ротора;

9) испытание на нагрев;

10) измерение вибрации;

11) определение реактивных сопротивлений и постоянных времени генераторов;

12) испытание газоохладителей гидравлическим давлением;

13) проверку газоплотности ротора, статора и всего генератора в собранном виде (при водородном охлаждении);

14) проверку плотности водяной системы охлаждения обмотки статора;

15) контрольный анализ состава газа;

16) проверку качества охлаждающей воды.

Кроме указанных выше испытаний, при приемке после монтажа (или после капитального ремонта) могут проводиться следующие испытания и измерения: а) пробная самосинхронизация синхронного генератора с сетью; б) испытание в асинхронном режиме ТГ с массивными роторами и бандажными кольцами; перед испытанием проверяется возможность его проведения по условиям снижения напряжения электросистемы; в) испытание активной стали статора (только для машин, ранее находившихся в эксплуатации); г) измерение сопротивления изоляции доступных изолированных стяжных болтов стали статора (до монтажа машин); д) испытание изоляции ОС повышенным выпрямленным напряжением с измерением токов утечки; в) проверка состояния изоляции термодетекторов; ж) измерение воздушного зазора между статором и ротором, а также зазоров во всех подшипниках; з) измерение величины осевого разбега.

Эксплуатационные профилактические испытания СМ не нормируются ГОСТами, а устанавливаются соответствующими инструкциями. В программу этих испытаний входит часть приемно-сдаточных испытаний.

В объем наладочных работ при необходимости включают перевод СГ в режим СК, проверку правильности обозначения выводов и чередования фаз ОС, снятие нагрузочной характеристики.

2. Внешний осмотр и проверка механической части

При виешнем осмотре и проверке мехаиической частн СМ выполняют требоваиня, изложеииые в гл. V. Особое виимание должио быть обращеио на чистоту машииы, виешиее состоянне изоляции, крепленне лобовых частей обмотки, состояиие контактиых колец, правильность выполиеиия системы вентиляции и масляиого хозяйства.

Прн значительиой загрязиеииости машииы, кроме продувки ее сжатым воздухом, иеобходимо протереть обмотку и проверить, иет ли иа ней следов масла. Изоляция обмотки должиа иметь хорошую лаковую плеику, быть эластичной, нехрупкой, ие иметь задиров нли забонн.

Осмотр рекомеидуется пронзводить по отдельиым частям машины: статору, ротору, возбуднтелю, системе веитиляцни, маслохозяйству.

У статора проверяют целость изоляции н отсутствие деформации лобовых частей обмотки, состояине изоляции выводных коицов, проводки от термопар н термометров сопротивлеиия в доступиых местах, наличие всех заглушек иа отверстнях в корпусе статора и прокладок под иимн, отсутствне в камерах и отсеках корпуса посторонних предметов, мусора.

Креплеиие лобовых частей обмоткн должио быть иадежиым; все шпагатные бандажи н распоркн между иимн должиы находиться на месте и быть в нсправиом состоянии. При иеобходимостн пронзводится подтяжка болтов или шпагата. Места механическнх повреждеинй изоляции отмечаются.

При осмотре ротора проверяют состояние контактных колец, их изоляции, щеточиого аппарата, шеек вала, прочиость креплеиия баланснровочных грузов. Поверхиость коитактиых колец должиа быть чнстой, без царапии, боковые поверхности — без окалии. Коитактиые кольца ие должиы иметь трещин, забоин и т. п., иа иих не должно попадать масло. Изоляция колец друг от друга и от корпуса не должна иметь видимых иарушеиий и загрязиеиия. У колец, насажениых в горячем виде иа покрытую миканитом буксу, вся свободная поверхность миканита должиа быть обмотана баидажами нз шпагата. При иеравномериой сработке контактиых колец необходимо произвести проточку колец н шлифовку их иаждачиой бумагой.

Осматрнвая щеточный аппарат, проверяют соответствие марки, размеров и количества щеток требоваииям завода-нзготовнтеля, креплеиие щеткодержателей на траверсе, прнсоединеиие поводков щеток к кольцам траверсы, равномериый и допустимый нажим щеток. Давленне шеток на кольцо должио соответствовать ГОСТу и техи-

ческим условиям на щетки (см. табл. V. 1 и VII. 1). Щетки должны свободно, но без слабины сидеть в обоймах щеткодержателей, не свешиваясь за край контактных колец. Расстояние щетки от края должно быть не меньше величины допустимого осевого разбега вала.

Таблица VII. 1

Технические данные электрощеток СМ

Окружная скорость, *м/сек*	Плотность тока, *а/см²*	Рекомендуемые марки щеток	
		основные	дополнительные
До 15	До 8	Г3, Г2	—
До 25	10—12	МГ4, ЭГ4	Г3, Г8, М6 М1, М3, М20
25—40	До 10	ЭГ, ЭГ14 ЭГ11, ЭГ12	ЭГ-83
>40	До 9	ЭГ-83	—

Примечание. Для быстроходных машин рекомендуются щетки с малым коэффициентом трения.

Траверса при затянутых стопорных приспособлениях должна плотно сидеть в своем гнезде. Расстояние между нижними краями обойм щеткодержателей и поверхностью контактных колец обычно равно 2—3 *мм*. Шейки вала не должны иметь забоин, грязи, ржавчины, царапин и прочих повреждений.

При наличии вентилятора или вентиляционных лопаток на роторе проверяется затяжка болтов или гаек, которыми они прикреплены, и крепление балансировочных грузиков, если они имеются. В местах горячей посадки бандажей и центрирующих колец ротора не должно быть контактной коррозии, трещин и других механических повреждений.

У роторов явнополюсных машин проверяют плотность установки междуполюсных распорок, отсутствие забоин на поверхности обмотки, выполняемой голой медью, гнутой на ребро.

В системе вентиляции следует обращать внимание на состояние воздушных каналов, фильтров, воздухоохладителя. Каналы должны быть чистыми и не содержать предметов и устройств, уменьшающих их проектное сечение. У фильтров не должно быть щелей. Для контроля загрязненности фильтров по величине разрежения последние должны иметь микроманометры.

При осмотре масляного хозяйства машины проверяют наличие уплотнений у подшипников, препятствующих вытеканию масла. Когда используют кольцевую смазку, смазочные кольца должны находиться на своих местах и свободно висеть на валу. При дисковой смазке скребок, снимающий масло с диска, должен свободно стоять в гнезде; отверстие для стока масла не должно быть засорено.

3. Измерение сопротивления изоляции обмоток
Определение коэффициента абсорбции

Величина сопротивления изоляции обмоток, в соответствии с ГОСТом 183—55, не должна быть ниже значения, определяемого по формуле VI. 1 при нормальном рабочем режиме обмоток, т. е. при температуре 75° С.

Когда температура обмотки ниже 75° С (но не ниже 10° С), сопротивление изоляции пересчитывают на температуру 75° С. Такой пересчет производят, деля величину сопротивления изоляции. полученную при измерении, или умножая допустимое значение, полученное при расчете по формуле (VI.1), на температурный коэффициент $K_т$:

$t°$, С . . .	75	70	60	50	40	30	20	10
$K_т$ . . .	1	1,2	1,8	2,6	3,9	5,5	8,5	12

Если температура обмотки ниже 10° С, последнюю перед измерением сопротивления изоляции необходимо подогреть. Допустимые значения сопротивления изоляции при измерении мегомметром (через 60 *сек*), приведены в табл. VII. 2.

Таблица VII. 2

Минимально допустимые значения сопротивления изоляции

Испытуемый объект	Напряжение мегомметра, *в*	Минимальное значение сопротивлении изоляции, *Мом*	Основание
Синхронные генераторы и компенсаторы:			
обмотка статора при напряжении 1000 *в* и ниже	2500	0,5 при t=10—30° С	ПЭУ, § I-8-13
при напряжении выше 1000 *в* . .	2500	1,0 на 1000 *в* при t=75° С	ГОСТ 183—55, § 29
обмотка ротора	1000	0,5 при t=10—30° С	СН 241—63 пп. 2 и 4 (ПТЭ, § 651)
Синхронные двигатели:			
обмотка статора при напряжении до 1000 *в*	1000	0,5	Заводские данные
при напряжении выше 1000 *в* . . .	1000	1,0 на 1000 *в*	ГОСТ 183—55
обмотка ротора	1000	0,2 при t=10—30° С	СН241—63

Примечание. Сопротивление изоляции всех фаз обмотки статора измеряют по отношению к корпусу и двум другим заземленным фазам, обмотки ротора — по отношению к телу и валу ротора.

Для машин напряжением 1000 *в* и ниже допускается измерение сопротивления изоляции обмотки ротора мегомметром на напряжение 500 *в*. Допускается ввод в эксплуатацию неявнополюсных роторов СМ, имеющих сопротивление изоляции не ниже 2000 *ом* при температуре 75° С или 20 000 *ом* при 20° С (относится также к обмоткам ротора явнополюсных СМ напряжением 1000 *в* и ниже).

Измерение сопротивления изоляции обмоток статора СМ с непосредственным водяным охлаждением имеет следующие особенности.

До измерения необходимо полностью удалить из обмотки, шлангов и коллекторов влагу. Это достигается продуванием опорожненной системы горячим воздухом. При проверке сопротивления изоляции внешние заземленные трубопроводы системы водяного охлаждения отсоединяют от статора.

Сопротивление изоляции одной фазы относительно корпуса после опорожнения обмотки статора и при заземлении остальных фаз обычно бывает больше 1 *Мом*.

При заполненной водой (конденсатом) обмотке статора сопротивление изоляции ее определяют по величине сопротивления воды в изоляционных шлангах соединений лобовых частей обмотки с металлическими трубопроводами водяных коллекторов. Эта величина не должна быть меньше 0,05 *Мом*.

Когда измеряют сопротивление изоляции ОС с большой емкостью относительно корпуса, мегомметр следует оборудовать приводом от электродвигателя.

Перед началом и после измерений обмотку необходимо на несколько минут заземлять для отвода остаточных зарядов в землю.

Состояние изоляции обмоток статора СМ характеризуется также коэффициентом абсорбции $K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$. При температуре обмоток 15—30° С $K_{аб} > 1{,}3$ при влажной изоляции $K_{аб} \simeq 1$.

Состояние изоляции обмоток статора и ротора принято считать удовлетворительным тогда, когда измеренное сопротивление незначительно отличается от сопротивлений предшествующих измерений или от сопротивлений, указанных в протоколе заводских испытаний. Сопротивление изоляции каждой фазы ОС должно иметь близкие (почти одинаковые) значения.

4. Измерение сопротивления изоляции подшипников и температурных детекторов

Сопротивление изоляции подшипников относительно фундаментной плиты измеряют при полностью собранных маслопроводах. Чтобы исключить влияние соприкосновения вала с подшипником,

вал СМ со стороны возбудителя приподнимают подъемным краном, под шейку подкладывают изоляционный картон. Если у СМ под изолируемый подшипник положены два слоя изоляции, между которыми имеется лист из стали или другого электропроводящего материала, сопротивление изоляции можно контролировать в собранной машине. Однако этот контроль не надежен, так как не исключена возможность соединения подшипника с фундаментной плитой случайным металлическим предметом. Рекомендуется описанный ниже метод двух последовательных измерений напряжения в контуре: вал — подшипник — фундаментная плита — подшипник — вал.

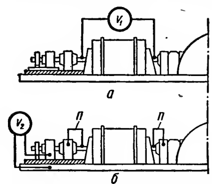


Рис. VII.1. Определение состояния изоляции подшипника турбогенератора во время его работы:

а — измерение напряжения на концах вала; *б* — измерение напряжения между стойкой подшипника и фундаментной плитой (*П* — перемычка для шунтирования масляной пленки).

Маслопроводы к подшипнику присоединяют через короткие патрубки, изолированные с обеих сторон. Это позволяет проверить сопротивление изоляции маслопровода, не вскрывая подшипника. У гидрогенераторов контролируют сопротивление изоляции подпятника и направляющих подшипников, если это позволяет их конструкция.

Согласно ПУЭ, I-8-13, I-8-15, сопротивление изоляции подшипников синхронного генератора и возбудителя, измеренное на напряжение 1000 *в*, должно быть не меньше 1 *Мом* для турбогенераторов (ГОСТ 533—51) и 0,3 *Мом* для гидрогенераторов (ГОСТ 5616—50). Величина сопротивления изоляции подшипников остальных СМ не нормируется, но практически она должна быть не ниже 0,5 *Мом*.

Для проверки изоляции подшипников в процессе работы СМ вольтметром с малым внутренним сопротивлением и низкими пределами измерения измеряют электрическое напряжение между концами вала ротора. При этом применяют метод двух последовательных измерений напряжения в контуре (рис. VII.1).

При первом измерении определяют напряжение U_1 на концах вала ротора, при втором — напряжение U_2 между фундаментной плитой и корпусом подшипника со стороны возбудителя. Величину U_2 измеряют при закороченных масляных пленках в обоих подшипниках СМ. Если изоляция подшипника исправна, $U_1 = U_2$. Различие напряжений больше чем на 10% указывает на неисправность изоляции. Напряжение U_2 при измерении должно быть меньше напряжения U_1.

Сопротивлеие изоляции температурных детекторов измеряют вместе с соединительными проводами от измерительного прибора до температурного детектора, включая соединительиые провода, уложениые внутри машииы. Это измерение производят мегомметром иа напряжение 250 *в*. Сопротивление изоляции не нормируют, но практически оно должно быть не меньше 0,5 *Мом*.

5. Испытание электрической прочности изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты и повышенным выпрямленным напряжением

Зиачеиия испытательного напряжения для стандартиых испытаний изоляции СМ при выпуске с завода-изготовителя или после ремоита с полиой заменой изоляции по ГОСТу 183—55 приведеиы в табл. VII.3. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*. Величииы испытательных иапряжеиий для испытаиий машин в собраниом виде после их установки перед сдачей в эксплуатацию равны 75% указаниых в этой таблице.

Таблица VII.3

Значеиия испытательиого напряжения для изоляции СМ

Испытуемый объект	Испытательное напряжение промышленной частоты (действующее значенне), *в*
Обмотка статора (каждая фаза в отдельиости относительно корпуса и двух других заземлениых фаз):	
для машии мощностью больше 3 *квт* (или 3 *ква*) и меньше 1000 *квт* при $U_{ном}$ свыше 36 *в*	$1000 + 2\ U_{ном}$ (ио не меиьше 1500)
для машни мощностью от 1000 *квт* (или 1000 *ква*) и больше при $U_{ном}$ до 3300 *в* включительно . . .	$1000 + 2\ U_{ном}$
то же при $U_{ном}$ от 3300 до 6600 *в* включительно	$2{,}5\ U_{ном}$
то же при $U_{ном}$ свыше 6600 *в*	$3000 + 2\ U_{ном}$
Обмотка ротора для машнн, у которых иоминальное напряжение системы возбуждения не превышает 500 *в*	$10\ U_{ном}$ (ио ие меиьше 1500 и ие больше 3500 *в*)

Согласно ПУЭ, изоляцию обмоток статора генератора рекомеидуется испытывать до ввода ротора в статор (для ГГ — после стыковки статора). В процессе испытания проверяется состояние лобовых частей машииы (для ТГ — при снятых торцевых щитах, для ГГ — при открытых вентиляционных люках и т. п.).

Изоляция обмотки ротора турбогенераторов испытывается при номинальной скорости вращения ротора, а изоляция обмотки статора для машин с водяным охлаждением — при циркуляции дистиллированной воды в системе охлаждения.

После испытания изоляции ОС повышенным напряжением в течение 1 *мин* у генераторов с $U_{ном} = 10$ *кв* и больше испытательное напряжение снижается до номинального и выдерживается в течение 5 *мин* для наблюдения за коронированием лобовых частей обмоток статора.

До включения машины в работу (после ввода ротора в статор и установки торцевых щитов) осуществляется повторное контрольное испытание изоляции переменным напряжением $U_{ном}$ или выпрямленным напряжением, равным 1,5 $U_{ном}$. Продолжительность испытания 1 *мин*. Согласно ТУ МЭС, продолжительность профилактических испытаний при плановых капитальных ремонтах, не связанных с заменой изоляции, также составляет 1 *мин* (табл. VII.4).

Таблица VII.4

Значения испытательных напряжений при плановых капитальных ремонтах, не связанных с заменой изоляции

Испытуемый объект	Напряжение промышленной частоты, *в*
Обмотка статора (каждая фаза относительно корпуса и двух других заземленных фаз):	
до ввода ротора в статор и установки торцевых щитов	$\frac{1,5\ U_{ном}}{2,2\ U_{ном}}$
после ввода ротора в статор и установки торцевых щитов	$\frac{1,0\ U_{ном}}{1,5\ U_{ном}}$
Обмотка ротора (относительно корпуса):	
ротор с явновыраженными полюсами	1500
ротор с неявновыраженными полюсами при снятых роторных бандажах	1000

Примечания.

1. При одетых роторных бандажах изоляцию измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*.
2. В знаменателе приведены значения выпрямленного напряжения.

Для машин с удлиненным (до двух лет) межремонтным периодом величина испытательного напряжения ОС равна 1,7 $U_{ном}$. При приемо-сдаточных испытаниях турбо- и гидрогенераторов, синхронных компенсаторов, бывших в эксплуатации, величина испытательного напряжения ОС должна быть (1,5—1,7) $U_{ном}$. Изоляцию ОС испытывают в горячем состоянии сразу же после остановки машины на ремонт, до обдувки и чистки при снятых торцевых щитах; изо-

ляцию ротора (якоря) испытывают после чистки. У роторов турбогенераторов с наборными зубцами без пазовых гильз изоляцию не испытывают повышенным напряжением, а проверяют мегомметром на напряжение 1000 *в*.

Согласно ГОСТу 183—55, электрическую прочность изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками испытывают при неподвижном состоянии машины. Электрическую прочность ротора ТГ испытывают при вращении ротора с номинальной скоростью.

Если на заводе-изготовителе машину испытывают на нагрев, электрическую прочность изоляцин обмоток проверяют при температуре, близкой к рабочей температуре машины, иначе этому нспытанию должна быть подвергнута машина, находящаяся в практически холодном состоянии.

После окончания испытання высоким напряжением требуется разрядить обмотку на корпус. До нспытания н после него обязательно проверяют сопротивление нзоляции обмоток мегомметром. Если в объем испытаний входит испытание прн повышенной скорости вращения и кратковременной перегрузке по току, оно должно предшествовать испытанию изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.

ГОСТ 183—55 устанавлнвает следующий порядок испытаний. Испытание начннают с напряжения, не превышающего $^1/_3$ испытательного. Затем напряженне поднимают до полного значения испытательного постепенно илн ступенями, не превышающнми 5% полного значения; прн этом время, допускаемое для подъема испытательного напряжения от половинного до полного значения, должно быть не меньше 10 *сек*. Полное испытательное напряжение выдерживают в теченне 1 *мин*, после чего плавно снижают до $\frac{1}{3}$ этого значения и отключают. Результаты испытания считаются удовлетворительными в том случае, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции и приборы не зафиксировали резких толчков. Последние показывают наличие частичных повреждений изоляции. Явления короны и скользящие разряды по поверхности во вниманне не принимаются.

Испытание электрической прочности нзоляции ОС выпрямленным напряжением (рис. VII.2) позволяет выявить местные дефекты, которые нельзя установить при испытании напряжением переменного тока. Это испытание проводят до испытания повышенным напряжением переменного тока, перед вводом ротора в статор. Испытанию подвергают каждую фазу относительно корпуса при двух других заземленных фазах. При наличии параллельных ветвей фаз обмотки каждую ветвь испытывают отдельно.

Величины испытательного выпрямленного напряжения $U_{макс}$ для генераторов, синхронных компенсаторов и двигателей приведена в табл. VII.5 (СН, 241-63).

Таблица VII.5

Значения испытательного напряжения

Мощность, *ква*	Номинальное напряжение, *в*	Максимальная величина испытательного выпрямленного напряжения, *в*
Меньше 1000	Все напряжения	$1{,}2\,(2\,U_{ном} + 1000)$
От 1000 и больше	До 3300 включительно	$1{,}2\,(2\,U_{ном} + 1000)$
От 1000 и больше	3300—6600	$1{,}2 \cdot 2{,}5\,U_{ном}$
От 1000 и больше	Свыше 6600	$1{,}15\,(2\,U_{ном} + 3000)$

Примечания.

1. Для двигателей мощностью до 5000 *квт* включительно, имеющих скорость вращения до 1500 *об/мин*, $U_{исп} = 2{,}5\,U_{ном}$.

2. При повторном контрольном испытании после ввода ротора в статор и установки торцевых щитов максимальная величина выпрямленного испытательного напряжения равна $1{,}5\,U_{ном}$.

3. Длительность приложения максимальной величины выпрямленного напряжения составляет 1 *мин*.

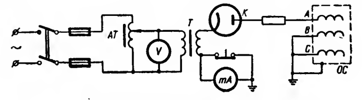


Рис. VII.2. Принципиальная схема испытания ОС выпрямленным напряжением.

Во время испытания микроамперметром измеряется ток утечки. Ток утечки испытательной схемы (без обмоток машины) должен быть сведен к минимуму. Провода испытательного аппарата прокладывают на расстоянии не меньше чем 0,5 *м* от корпуса машины и других заземленных частей.

При полностью собранной испытательной схеме, но до присоединения обмоток машины проверяют отсутствие токов утечки в схеме путем подъема напряжения от $U_{мин}$ до $U_{макс}$.

Минимальная величина выпрямленного напряжения при испытании генераторов, синхронных компенсаторов и двигателей, указанных в табл. VII.5, принимают равной 0,2 $U_{макс}$, для двигателей мощностью до 5000 *квт* включительно, имеющих скорость вращения до 1500 *об/мин* — 0,5 $U_{макс}$.

Для построения характеристики зависимости токов утечки $I_у$ от испытательного напряжения их следует измерить не менее пяти раз

в пределах от $U_{мин}$ до $U_{макс}$ равными ступенями. На каждой ступени напряжение выдерживают в течение 1 *мин*; величину токов утечки отсчитывают через 15 и 60 *сек*, после чего продолжают плавный подъем напряжения до значения, соответствующего следующей ступени, и т. д. Когда при неизменном испытательном напряжении на какой-то ступени ток утечки нарастает, испытание прекращают и принимают меры по устранению причин этого нарастания. Испытание следует также прекратить по достижении токами утечки предельно допустимых величин (СН, 241-63):

Ступень испытательного напряжения по отношению к $U_{ном}$	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Наибольший допустимый ток утечки, *мка* . . .	250	500	1000	2000	3000	3500

или при появлении на кривой токов утечки испытательного напряжения крутого изгиба. Приведенные токи утечки определены, исходя из величины сопротивления изоляции $R_{60} = 2$ *Мом* на 1 *кв* при номинальном напряжении машины, температуре обмотки 10—30°С и коэффициенте нелинейности, равном трем.

Если устранить причину повышенных токов утечки не удается, машину следует поставить на контрольный прогрев.

Изменение тока утечки, измеренного по истечении 60 *сек* на каждой ступени испытательного напряжения, в зависимости от приложенного напряжения данной ступени характеризует качество изоляции.

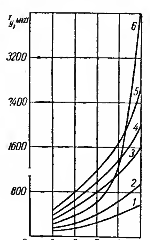
При снятии характеристики $I_у = f(U_{исп})$ для двигателей мощностью до 5000 *квт* включительно, имеющих скорость вращения до 1500 *об/мин*, согласно СН, 241-63, рекомендуются следующие ступени испытательных напряжений выпрямленного тока:

Номинальное напряжение, *кв*	3	6	10
Ступень испытательного напряжения, *кв*	1,5; 3; 4,5; 6; 7,5	3; 6; 9; 12; 15	5; 10; 15; 20; 25

Подъем напряжения от ступени к ступени производят плавно примерно за 10 *сек*. Время снятия напряжения не нормируется. После каждого отключения испытательного устройства со стороны НН обмотку разряжают не менее чем 5 *мин*.

Состояние изоляции оценивают на основании сравнения токов утечки каждой фазы ОС и построения характеристики зависимости тока утечки от напряжения. Резкое расхождение величин тока утечки по фазам (больше чем в два-три раза) указывает на дефекты изоляции.

Характеристика $I_у = f(U_{исп})$ блнзка к линейной (рис. VII.3). Нарушение линейностн (налнчие характерного излома) свидетельствует об увлажненности изоляции.



Рнс. VII.3. Прнмерный внд крнвых завнснмостн тока утечкн через нзоляцню обмоткн статора СМ от нспытательного напряжения:

1 — 5 — удовлетворительные характеристики; *6* — неудовлетворительная характеристика.

Резкие колебания стрелки микроамперметра и вольтметра во время испытания обычно предшествуют пробою нзоляции.

6. Измерение сопротивления обмоток СМ постоянному току

Сопротивление постоянному току обмоток статора н ротора генератора измеряют для получення нсходных данных, необходимых прн определенин температуры обмоток по нх сопротнвленню, проверки симметрии отдельных фаз обмоток статора и состояния контактов и качества паек, выявления витковых замыканий.

Температура обмоток не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на 3° С. Полученные прн нзмеренни значення сопротивлений обмоток сравнивают с ранее нзмеренными. Согласно ПЭУ, 1-8-13, предельно допустимые отклонения сопротивлення постоянному току должны соответствовать данным табл. VII. 6.

Таблнца VII.6.

Допустимые отклонения сопротнвлений постоянному току

Испытуемый элемент	Норма
Обмотка статора	Измеренные велнчины сопротнвлений обмоток различных фаз в практическн холодном состояннн для генераторов мощностью 100 *мвт* н больше не должны отлнчаться друг от друга больше чем на 1%, а для генераторов меньшей мощностн — больше чем на 2%. Вследствне конструктнвных особенностей (большая длнна соедннительных дуг н пр.) расхожденне между ветвямн может достигать 5%
Обмотка ротора	Измеренная велнчнна сопротнвлення не должна отлнчаться от заводскнх данных больше чем на 2%. Для роторов с явными полюсамн нзмеряют сопротнвленне каждого полюса в отдельности нлн попарно, а также переходного контакта между катушкамн

Сопротивление меньше 1 *ом* измеряют мостовым методом с применением двойного моста, а больше 1 *ом* — методом одинарного моста. В условиях эксплуатации для измерения сопротивлений применяют метод вольтметра — амперметра (рис. VII. 4).

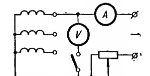


Рис. VII.4. Схема измерения сопротивления обмоток СМ постоянному току методом вольтметра-амперметра.

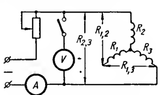


Рис. VII.5. Схема измерения сопротивления обмотки статора СМ, соединенной в звезду с тремя выводами.

При соединении обмоток в звезду с выведенной нулевой точкой сопротивление обмоток измеряют пофазно. Если нулевая точка не выведена, тогда измеряют сопротивление двух фаз (рис. VII.5). Величину сопротивления каждой фазы определяют по формулам

$$R_1 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{1,3} - R_{2,3}) \text{ [ом]}; \quad \text{(VII.1)}$$

$$R_2 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}) \text{ [ом]}; \quad \text{(VII.2)}$$

$$R_3 = \frac{1}{2}(R_{1,3} + R_{2,3} - R_{1,2}) \text{ [ом]}. \quad \text{(VII.3)}$$

При одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{R_{1,2}}{2} \text{ [ом]}. \quad \text{(VII.4)}$$

Рис. VII.6. Схема измерения сопротивления обмотки статора СМ, соединенной в треугольник.

Когда обмотки соединены в треугольник (рис. VII.6), их сопротивление определяют так:

$$R_1 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{2,3}R_{1,3}}{-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3}} - (-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3})\right] \text{ [ом]}; \quad \text{(VII.5)}$$

$$R_2 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{1,3}R_{1,2}}{R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3}} - (R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3})\right] \text{ [ом]}; \quad \text{(VII.6)}$$

$$R_3 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{1,2}R_{2,3}}{R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}} - (R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3})\right] \text{ [ом]}. \quad \text{(VII.7)}$$

При одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{3}{2} R_{1,2} \ [ом]. \qquad (VII.8)$$

Сопротивление обмоток постоянному току, измеренное не менее трех-четырех раз, принимают равным среднему значению.

Для оценки и сравнения измеренные величины сопротивления приводят к температуре $t_2 = 20°C$ по формуле

$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \ [ом]. \qquad (VII.9)$$

При измерении сопротивления постоянному току обмоток ротора для создания надежного контакта в токовых цепях применяют хомуты с болтовыми соединениями в местах разъема, надеваемые на зачищенные кольца ротора.

7. Проверка правильности обозначения выводов обмоток статора

В табл. VII.7 приведены обозначения выводов обмоток ЭМ трехфазного переменного тока (ГОСТ 183—55). Для машины с одним направлением вращения порядок чередования обозначений выводов должен соответствовать порядку следования фаз для данного направления вращения.

Таблица VII.7

Обозначение выводов обмоток ЭМ трехфазного переменного тока

Схема соединений обмоток	Число выводов	Вывод	Начало вывода	Конец вывода
Обмотка статора (якоря):				
открытая схема	6	Первая фаза	С1	С4
		Вторая фаза	С2	С5
		Третья фаза	С3	С6
соединение в звезду	3 или 4	Первая фаза	С1	—
		Вторая фаза	С2	—
		Третья фаза	С3	—
		Нулевая точка	0	—
соединение в треугольник	3	Первый зажим	С1	—
		Второй зажим	С2	—
		Третий зажим	С3	—
Обмотка возбуждения (индукторов) СМ	2	—	И1	И2

Выводы двух обмоток на статоре обозначаются так: для первой обмотки — 1С1 — 1С4; 1С2—1С5; 1С3—1С6, для второй обмотки —

2С1—2С4; 2С2—2С5; 2С3—2С6. Схемы расположения выводов ОС трехфазных СМ показаны на рис. VII. 7.

В случае отсутствия маркировки, а также при наладке проверяют правильность соединений выводов обмоток статора, которая сводится к определению начала и конца каждой фазы (см. гл. VIII).

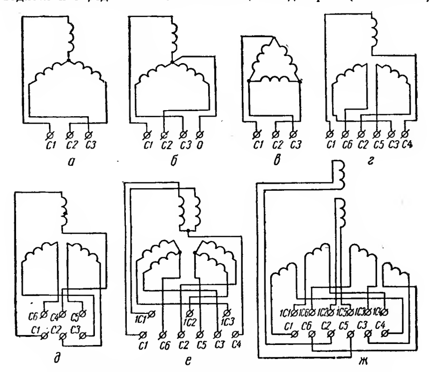


Рис. VII.7. Схема расположения выводов обмоток статора СМ:
а — соединение в звезду; *б* — соединение в звезду с выведенной нулевой точкой; *в* — соединение в треугольник; *г* — при наличии шести выводов в ряд; *д* — соединение в звезду или треугольник; *е* — при наличии девяти выводов; *ж* — при наличии двенадцати выводов.

8. Определение порядка чередования фаз ОС и направления вращения ротора двигателя

Наиболее простым стационарным методом определения порядка чередования фаз обмотки статора трехфазных электрических машин является метод импульсов постоянного тока (рис. VII. 8,*а*). Отличительная особенность этого метода состоит в подаче импульсов

постоянного тока в обмотку возбуждения, ось которой может свободно перемещаться в плоскости, перпендикулярной валу.

Согласно рис. VII.8, *а*, источник постоянного тока напряжением 2—4 *в* (аккумулятор, сухой элемент и т. п.) через прерыватель присоединяют к ОВ. Универсальный магнитоэлектрический вольтметр типа Ц-315 (или другого типа) поочередно подключают одним зажимом к началу трех фаз, а другим — к нулевой точке ОС.

Оси обмоток фаз смещены между собой на 120 электр. *град*, поэтому при подаче импульсов в одной из фаз всегда будет индуктироваться э. д. с., отличающаяся по знаку от э. д. с. других фаз. Фаза, в которой э. д. с. отличается знаком от других, может

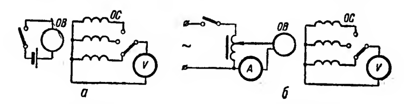


Рис. VII.8. Схемы для определения порядка чередования фаз синхронного генератора методом импульсов постоянного тока (*а*) и методом переменного тока (*б*).

быть выделена и условно названа первой. Затем ротор генератора с помощью валоповоротного устройства (или другим способом) проворачивают на 120 электр. *град* в направлении вращения вала, т. е. на 120; 60 и 40 геометр. *град* для машин с номинальными скоростями вращения, соответственно равными 3000; 1500 и 1000 *об/мин*. После этого опыт повторяют с соблюдением полярности импульсов, подаваемых в обмотку возбуждения. Электродвижущая сила, отличающаяся по знаку от двух других, будет находиться в фазе, которая непосредственно следует за первой. На этом определение порядка чередования фаз заканчивается.

Для контроля желательно провести третий опыт после поворота вала еще на 120 электр. *град* в сторону вращения. Углы проще всего отсчитывать со стороны коллектора возбудителя, где щеточные ряды делят окружность практически на равные части.

Применяя этот метод для соединения фаз ОС в треугольник или звезду без выведенной нулевой точки, зажимы вольтметра поочередно подключают к выводам обмотки в следующей последовательности: *А*—*В*, *В*—С, *С*—*А*. Фазы, обозначенные первыми буквами, присоединяют к зажиму вольтметра, который принят за начало. Условные обозначения *А*, *В*, *С* предварительно наносят на выводы

обмотки. Полученные знаки э. д. с., измеренных между выводами A—B, B—C и C—A при различном положении ротора записывают в таблицу, аналогичную табл. VII.8.

Когда машины работают в блоке с трансформаторами, порядок чередования фаз сети легче проверять с высокой стороны; после маркировки выводов опыт желательно повторить, измерив э. д. с., индуктируемые за трансформатором. Это удобно делать на вторичной стороне ТН.

Применение метода импульсов постоянного тока ограничено быстроходными ЭМ, поэтому кроме него используют метод переменного тока (рис. VII.8,*б*).

Таблица VII.8

Примерное распределение знаков э. д. с. между фазами

Угол поворота ротора, электр. *град*	Фаза A	Фаза B	Фаза C
0	+	+	—
120	—	+	+
240	+	—	+

В обмотку возбуждения через регулировочный АТ подают небольшой ток промышленной частоты. При этом в фазах A, B, C индуктируемые напряжения с некоторым допущением могут быть определены из следующих выражений:

$$\left.\begin{aligned} U_A &= U_{\text{макс}} \cos \alpha; \\ U_B &= U_{\text{макс}} \cos (\alpha - 120^\circ); \\ U_C &= U_{\text{макс}} \cos (\alpha - 240^\circ), \end{aligned}\right\} \qquad \text{(VII.10)}$$

где $U_{\text{макс}}$ — напряжение, индуктируемое в фазе при совпадении ее оси с осью обмотки возбуждения, т. е., когда угол между осями $\alpha = 0$.

К началу одной из фаз ОС, принимаемой условно за первую, и к нулевой точке присоединяют многопредельный вольтметр переменного тока. Плавно перемещая ротор генератора в направлении вращения, добиваются отклонения стрелки прибора, близкого к максимальному. На двух других фазах устанавливают примерно одинаковое по величине напряжение, равное $\frac{1}{2} U_{\text{макс}}$. Если затем ротор медленно поворачивать в том же направлении, в диапазоне углов 0—30 электр. *град* в фазе, непосредственно следующей за первой, напряжение будет уменьшаться до нуля, а в третьей фазе — возрастать. Таким образом, по характеру изменения показаний вольтметра, включенного на одну из этих фаз, можно судить, является ли фаза второй или третьей.

При измерении удобно пользоваться двумя вольтметрами одновременно. Опыт должен быть повторен два-три раза для исключения случайных ошибок при резком повороте ротора, особенно у машин с большим числом полюсов.

У машин, имеющих только три вывода ОС, вольтметр подключают вначале к любым двум выводам, принимаемым за *A* и *B*. Проворачивая ротор, добиваются такого положения его, при котором максимально отклоняется стрелка прибора. Затем вольтметр пересоединяют к выводам *B* и *C*. Когда при дальнейшем медленном повороте ротора показания прибора уменьшаются, можно сделать вывод, что выводы обозначены правильно. Если же показания возрастают, обозначения любых двух выводов следует поменять местами и повторить опыт.

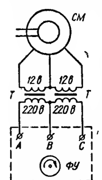


Рис. VII.9. Проверка направления вращения низковольтных СД.

Для блоков генератор — трансформатор или трансформатор — двигатель измерения производят на высокой стороне трансформатора. Вольтметр включают через трансформаторы напряжения. Определению порядка чередования фаз стационарными методами всегда должно предшествовать измерение сопротивления изоляции обмоток, сопротивления их постоянному току, а также определение или проверка правильности обозначения начала и конца фаз.

Определение последовательности чередования фаз возможно при осмотре расположения фаз на статоре и выяснения последовательности прохождения мимо фазных обмоток полюса ротора. При осмотре выслеживают (начиная от выводов) вход в пазы начала всех фазных ОС. Зная направление вращения ротора, определяют последовательность, в какой, вращаясь в данном направлении, ротор пройдет мимо начала фазных обмоток.

Последовательность чередования фаз более удобно определить методом индикатора ВН. Подавая поочередно на каждую фазу ВН (в процессе испытания изоляции) индикатором, подносимым к лобовым частям обмотки, находят последовательность расположения фазовых обмоток.

Порядок чередования фаз генератора чаще всего проверяют ФУ (или эталонным вспомогательным трехфазным АД с короткозамкнутым ротором), подключаемым непосредственно или через вспомогательный трансформатор. Направление вращения ротора у СД определяется последовательностью чередования фаз. Для определения направления вращения ротора проводят следующий опыт.

В обмотку ротора подают постоянный ток, по величине равный 5—10% номинального. К статору подключают указатель чередования фаз. Во время поворота ротора в требуемом направлении ФУ получает напряжение, достаточное для слабого вращения его диска.

Отметив выводы статора по маркировке указателя, этим же прибором проверяют чередование фаз питающего кабеля (или шин).

Затем подключают кабель (нлн шнны) к соответствующим по маркировке выводам статора.

Для двигателей высокого напряжения ФУ при проверке чередования фаз питающего кабеля (шин) подключают через трансформаторы напряжения. У двигателей низкого напряжения, чтобы увеличить напряжение на зажнмах, ФУ подключают к статору через два небольших трансформатора T напряжением 220/12 *в* (рис. VII.9).

Порядок чередования фаз ОС двнгателя может быть определен методами нмпульсов постоянного тока или подачей в ОВ переменного тока, как указывалось выше для генераторов.

Сравнивая определенный одним из этих способов порядок чередования фаз двигателя с порядком чередования фаз питающей сети, можно предопределить направленне вращення двнгателя.

9. Снятие характеристик СМ

Характеристика холостого хода.

Характеристика холостого хода генератора выражает зависимость напряжения на зажимах U_0 от тока возбуждения $I_в$ при постоянном числе оборотов и отсутствии нагрузкн. Основные сведения о методнке снятия этой характернстнки приведены в гл. V. XXX синхронных машин можно снимать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя; рекомендуется снятие характеристики в режиме генератора.

Согласно ГОСТу 10169—62, у СМ с самовозбуждением, имеющих доступные выводы ОВ (например, контактные кольца), XXX снимают при питаннн ОВ от постороннего источника.

Для снятия XXX в режиме генератора СМ приводят во вращение с номинальной скоростью при помощи первнчного двигателя. Характеристику снимают при убывающем напряженин.

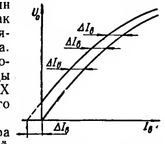


Рис. VII.10. Характеристики холостого хода СМ.

При уменьшенин тока возбуждения до нуля нзмеряют остаточное напряжение генератора. Для получения XXX, проходящей через начало координат, снятую характеристику смещают по оси абсцисс на величину $\Delta I_в$, полученную путем графической экстраполяции этой характеристикн до пересечення с осью абсцнсс (рис. VII.10).

В режиме двнгателя XXX снимают при питании испытуемой МПТ от источника, напряжение которого можно плавно изменять от значения не менее 1,3 номинального практически до нуля. В этом

режиме ХХХ снимают при коэффициенте мощности, равном единице. Для этого при каждом значении напряжения измеряют ток возбуждения, соответствующий минимальному току в ОС (якоре).

При снятии ХХХ в режиме генератора (рис. VII.11) измеряют ток возбуждения, линейное напряжение и частоту (или скорость вращения), а в режиме двигателя — кроме того, ток в фазе.

Для оценки третьей гармонической составляющей при соединении обмотки статора в звезду измеряют фазовое напряжение, а при соединении в треугольник — ток в фазе.

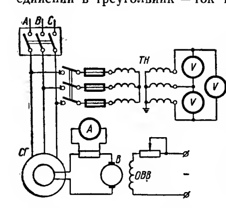


Рис. VII.11. Схема включения приборов при снятии ХХХ.

Перед снятием ХХХ проводится испытание витковой изоляции. Для этого возбуждение СМ плавно поднимают до тех пор, пока напряжение на зажимах не станет равным 1,3 номинального. Это напряжение выдерживается в течение 5 *мин*.

Если у испытуемого генератора при напряжении 1,3 номинального ток возбуждения ниже номинального, напряжение следует повышать до тех пор, пока не будет достигнуто это значение.

Отсчеты и запись показаний приборов при снятии характеристики рекомендуется делать при 130; 125; 120; 110; 100; 85; 70; 50; 30; 0% номинального напряжения (или при 130; 120; 70; 30; 0% по сокращенной системе напряжений). Указанные шкалы напряжений являются ориентировочными; небольшие отступления в ту или другую сторону не влияют на характеристику.

Для получения последней точки характеристики (0%), цепь возбуждения генератора размыкают и измеряют остаточное намагничивание. Полученную ХХХ сравнивают со стандартной для испытуемых СМ или с характеристикой предыдущего испытания (табл. VII.9). Отклонение характеристики свидетельствует о наличии повреждения в машине (чаще всего виткового замыкания в обмотке возбуждения). Например, если характеристика лежит ниже, чем в предыдущем испытании, это может означать, что имеется витковое замыкание в роторе.

При скорости вращения ротора во время испытания ниже номинальной величина напряжения пересчитывается по формуле

$$U = U_{\text{изм}} \frac{n_{\text{н}}}{n_{\text{изм}}} [в], \qquad \text{(VII.11)}$$

где U — напряжение, соответствующее номинальной скорости вращения, *в*; $U_{изм}$ — измеренное напряжение, *в*; $n_н$ и $n_{изм}$ — соответственно номинальное и измеренное число оборотов ротора в минуту.

Таблица VII.9

Нормальная XXX синхронных генераторов
(в относительных единицах)

Ток возбуждения	Напряжение холостого хода	
	ТГ	ГГ
0,50	0,58	0,53
1,00	1,00	1,00
1,50	1,21	1,23
2,00	1,33	1,30
2,50	1,40	—
3,00	1,46	—
3,50	1,51	—

Проверка симметрии напряжения ОС. Одновременно со снятием XXX проверяют симметрию напряжения ОС. Согласно ГОСТу 10169—62, эта проверка может производиться при любом значении напряжения (рекомендуется при номинальном).

Для определения симметрии напряжения одновременно измеряют напряжение между всеми тремя линейными выводами. При отсутствии трех приборов измерение допускается производить двумя вольтметрами: один из них включают поочередно между каждой парой линейных выводов, а другой — для контроля оставляют подключенным к любой паре линейных выводов. Симметрию напряжения оценивают по отношению разности между наибольшим и наименьшим измеренными линейными напряжениями к среднему его значению:

$$\varepsilon = \frac{U_{макс} - U_{мин}}{U_{ср}} 100\,[\%]. \qquad \text{(VII.12)}$$

Рис. VII.12. Схема испытания витковой изоляции катушек явновыраженных полюсов СМ напряжением промышленной частоты.

Симметрию напряжения высоковольтных машин определяют тремя однофазными или одним трехфазным трансформатором напряжения, присоединяемым к линейным выводам генератора. Предельное расхождение должно быть не больше 1% среднего значения линейного напряжения.

Испытание витковой изоляции. Испытание напряжением промышленной частоты витковой изоляции катушек полюсов ротора СМ с явновыраженными полюсами проводится по схеме, указанной на рис. VII.12. Величина испытательного напряжения принимается из расчета 2,5 *в* на виток. Продолжительность приложения напряжения 5 *мин*.

При испытании определяют и сравнивают между собой полные сопротивления обмотки каждого полюса ротора. Если катушки полюсов испытывают на роторе, введенном в статор, обмотка последнего должна быть разомкнута.

Характеристика симметричного трехфазного к. з.

Согласио ГОСТу 10169—62, характеристика короткого замыкаиия определяет собой зависимость тока в цепи ОС (якоря) от тока воз-

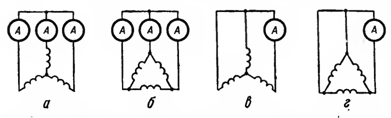


Рис. VII.13. Схемы замыкаиия фаз СМ при сиятии характеристики короткого замыкаиия:

а — соединение в звезду с образованием внешней нулевой точки; *б* — соединение в треугольник с образованием внешней нулевой точки; *в* — упрощенная схема соединения в звезду; *г* — упрощенная схема соединения в треугольник.

буждеиия машииы, работающей в режиме геиератора при устаиовившемся трехфазиом к. з.: $I_{к. з} = f(I_в)$.

Характеристика к. з. используется для расчета эксплуатациоиых параметров геиератора и определеиия исправности машииы. Одиовремеиио со сиятием этой характеристики могут быть определеиы активиые потери в обмотках:

$$P = mI^2R\,[вт], \quad (VII.13)$$

где m — число фаз статора; I — ток статора, *а*; R — сопротивление фазы статора при 75° С, *ом*.

Накоротко фазы замыкают возможио ближе к выводам машииы проводииками минимальиой длииы (рис. VII.13). Сечеиие проводииков выбирают по ожидаемому току.

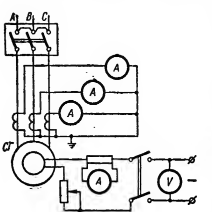


Рис. VII.14. Схема включеиия приборов при сиятии характеристики короткого замыкаиия СМ.

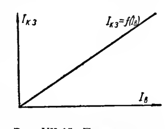
Согласио указаииому выше ГОСТу, для СМ, работающих по схеме самовозбуждеиия и имеющих доступиые выводы ОВ (иапример, коитактиые кольца), характеристику к. з. сиимают при питаиии ОВ от посторонего источиика аналогичио сиятию XXX (рис. VII.14).

При испытаиии измеряют ток в фазе ОС и ток возбуждеиия. У машии с соедииением фаз ОС в треугольиик чаще измеряют ли-

нейный ток. Характеристика трехфазиого к. з. представляет собой прямую лииию. Для ее построеиия достаточио при нспытаиии сделать три-четыре отсчета при разиых зиачеииях тока статора.

Еслн одиовремеиио со сиятием характеристики определяют потерн в обмотках, следует делать не меиее шестн отсчетов через приблизительио равиые интервалы токов, в том числе отсчет прн выключеинном возбуждеиии. Одии из отсчетов делают при токе, близком к иомииальиому току в ОС. Сиимать характеристику рекомеидуется прн убывающих токах.

Величииа тока трехфазиого к. з. при определеином токе возбуждення не зависит от скорости вращеиия геиератора. Поэтому, если одновремеиио с испытаиием ие определяют потери в обмотках, точиое поддержаиие скорости на уровие иомииальиой ие требуется; поправки иа отклоиеиие скорости вращеиия от иомииальиой ие виосятся в результаты испытаиия.



Рнс. VII.15. Прнмерная характеристика короткого замыкания СМ.

На рис. VII.15 показаи примериый внд характеристнки к. з. геиератора. При отсутствни остаточиого иамагиичиваиия у машииы характеристика проходит через начало координат, при иаличии остаточного иамагиичиваиия оиа отклоияется от начала координат.

В режиме двигателя опыт к. з. можио осуществить только во время выбега после отключеиия испытуемой машнны от нсточиика питания.

Отклоиеиие характеристики к. з., так же как н XXX, от даииых предыдущих испытанний свидетельствует о ненсправности машииы.

Нагрузочные характеристики

Нагрузочная характеристика СГ представляет собой зависимость иапряжения ОС, от тока возбуждения: $U = f(I_в)$ при неизмеиных значениях $I_{ст}$, $\cos\varphi$ и f.

Вид иагрузочиых характеристик при различных токах нагрузки показан иа рис. VII.16, а схемы для нх снятня — на рис. VII.17.

Нагрузочные характеристики СГ можно определить несколькими способами.

1. Испытуемая машииа с приводным двигателем имеет номинальиое иапряжеиие, равиое номииальиому иапряженню сети. Оиа сиихронизируется с сетью, затем возбужденне ее повышается до тех пор, пока ток отдаваемый машиной ие будет номиniальным. Приводиой двигатель регулируется так, чтобы между машнной и сетью не было обмена активиой мощностью.

Когда напряжение и ток при испытании отличаются от номинальных, ток возбуждения, соответствующий номинальному напряжению и номинальному току, определяется графическим методом. Согласно ГОСТу 10169—62, для этого на графике, на котором нанесена ХХХ испытуемой машины, ставят точку, соответствующую

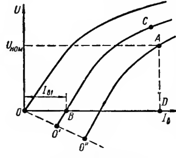
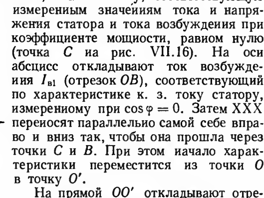


Рис. VII.16. Примерный вид нагрузочной характеристики СМ.



измеренным значениям тока и напряжения статора и тока возбуждения при коэффициенте мощности, равном нулю (точка C на рис. VII.16). На оси абсцисс откладывают ток возбуждения $I_{в1}$ (отрезок OB), соответствующий по характеристике к. з. току статору, измеренному при $\cos\varphi = 0$. Затем ХХХ переносят параллельно самой себе вправо и вниз так, чтобы она прошла через точки C и B. При этом начало характеристики переместится из точки O в точку O'.

На прямой OO' откладывают отрезок OO'', определяемый как

$$\frac{OO''}{OO'} = \frac{I_{ном}}{I}, \qquad \text{(VII.14)}$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток статора испытуемой машины; I — ток, измеренный при испытании.

Вторично ХХХ переносят параллельно самой себе так, чтобы ее начало совпало с точкой O''. Полученная кривая с достаточной для практических расчетов точностью представляет нагрузочную характеристику; лежащая на ней точка A дает ток возбуждения OD, соответствующий номинальным напряжению и току статора (якоря) при $\cos\varphi = 0$ в режиме перевозбуждения.

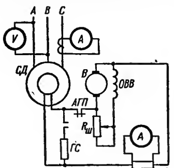


Рис. VII.17. Схема снятия нагрузочной характеристики СМ: *ОВВ* — обмотка возбуждения возбудителя; *АГП* — автомат гашения поля; *ГС* — гасительное сопротивление.

2. Испытуемая машина с приводным двигателем работает на другую вспомогательную СМ с тем же номинальным напряжением, но большей мощности (не менее чем в полтора раза). Если вспомогательная СМ имеет свой приводной двигатель, обе машины приводятся в движение от своих двигателей и синхронизируют друг с другом. Затем одновременно повышается возбуждение испытуемой машины и понижается вспомогательной до тех пор, пока ток, отда-

ваемый машиной, не будет номинальным. При наличии привода одной из СМ от двигателя постоянного тока можно добиться отсутствия обмена активных мощностей между машинами.

Если вспомогательная СМ не имеет своего приводного двигателя, порядок проведения опыта не изменяется. Однако в этом случае все потери вспомогательной машины покрываются от испытуемой, вследствие чего коэффициент мощности последней не равен нулю. Полученные результаты испытания в связи с этим будут иметь незначительную погрешность.

U-образная характеристика

Эта характеристика представляет собой зависимость тока статора от тока возбуждения при условии постоянства частоты, напряжения на выводах и полезной мощности на валу двигателя. Нагрузочную характеристику снимают при холостом ходе и нескольких значениях активной нагрузки.

Снятие *U*-образной нагрузочной характеристики рекомендуется при наладке всех СД, так как она позволяет определить условия регулирования возбуждения двигателя, выбрать пусковое положение реостата возбуждения, настроить автоматические регуляторы.

Согласно ГОСТу 10169—62, для определения *U*-образной характеристики СМ подключают к сети или к отдельному генератору и дают ей возможность работать с номинальным напряжением и частотой в режиме двигателя или генератора (при наличии первичного двигателя). При испытании измеряют ток, напряжение, мощность и частоту тока статора (якоря) и ток возбуждения (рис. VII.18).

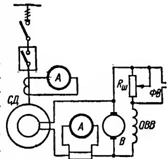


Рис. VII.18. Схема снятия *U*-образной характеристики СМ:

ФВ — форсировка возбуждения; $R_ш$ и $R_р$ — соответственно шунтовой и регулировочный реостаты.

Характеристику снимают как при недовозбуждении, так и при перевозбуждении. В процессе снятия *U*-образной характеристики желательно определить точки при номинальном значении тока статора, токе возбуждения, равном нулю (в режиме недовозбуждения), и токе статора, равном номинальному (в режиме перевозбуждения).

При подключении машины для снятия *U*-образной характеристики к отдельному СГ мощность последнего должна быть не меньше 1,5 номинальной мощности испытуемой машины.

Снятие *U*-образной характеристики в режиме генератора производится при наличии первичного двигателя и вспомогательной СМ,

которая могла бы работать двигателем от испытуемой машины. Мощность вспомогательной СМ должна быть не меньше 1,5 номинальной мощности машины, у которой определяют U-образную характеристику.

Для снятия характеристики СД при холостом ходе в ОВ подают наименьший ток, при котором двигатель не выпадает из синхронизма. При этом делают отсчеты тока статора и возбуждения. Затем увеличивают ток возбуждения до тех пор, пока ток статора не уменьшится до нуля. В этой части характеристики (режим недовозбужденного двигателя) делают отсчеты в четырех или пяти точках. При номинальном значении потребляемого от сети тока $\cos\varphi = 1$. Дальнейшее увеличение тока возбуждения вызывает увеличение потребляемого тока из сети.

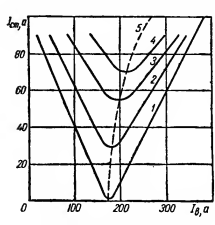


Рис. VII.19. Примерный вид U-образных характеристик СМ.

Последнюю точку U-образной кривой снимают при токе статора, превышающем номинальный на 10—20%. Когда снимают часть характеристики, соответствующую перевозбуждению двигателя, отсчеты делают также в четырех-пяти точках.

Аналогичным образом снимают U-образные кривые для активной мощности на валу двигателя, составляющей $^1/_3$; $^2/_3$ и 1 полной мощности.

На рис. VII.19 показаны U-образные характеристики СД. Кривая *1* снята при холостом ходе двигателя, кривые *2—4* являются примерными характеристиками, снимаемыми при различных неизменных нагрузках на валу двигателя, кривая *5* представляет собой смещение характеристик при различных нагрузках.

При наладке большей частью ограничиваются снятием U-образной характеристики при холостом ходе.

В отдельных случаях определяют только одно значение тока возбуждения в режиме ненагруженного перевозбужденного двигателя при номинальных напряжении и токе в статоре и $\cos\varphi = 0$.

Регулировочные характеристики

Регулировочная характеристика СМ выражает зависимость $I_в = f(I_{ст})$ при $U = \mathrm{const}$; $\cos\varphi = \mathrm{const}$.

Характеристика дает возможность установить, как нужно регу-

лировать при переменной нагрузке ток возбуждения от значения $I_{в\ хх}$ до $I_{в\ ном}$ для поддержания номинальной величины напряжения на зажимах СМ.

На рис. VII.20 показаны примерные регулировочные характеристики ТГ при различных значениях $\cos\varphi$.

Согласно ГОСТу 10169—65, регулировочную характеристику определяют непосредственно при испытании или графически.

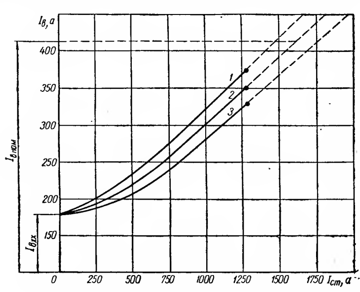


Рис. VII.20. Примерный вид регулировочных характеристик СГ:
1 — $\cos\varphi = 0{,}7$; *2* — $\cos\varphi = 0{,}8$; *3* — $\cos\varphi = 0{,}9$.

Для определения регулировочной характеристики методом непосредственной нагрузки СМ присоединяют к сети неизменного напряжения и дают ей возможность работать (в зависимости от основного назначения) в режиме генератора, синхронного компенсатора или двигателя. Для снятия регулировочной характеристики генератора и синхронного компенсатора может быть использована также регулируемая нагрузка.

Во время испытания в цепи статора (якоря) измеряют напряжение, ток, мощность, коэффициент мощности, частоту, а в цепи возбуждения — ток. Один из отсчетов делают при токе статора (якоря), близком к номинальному.

При графическом определении регулировочной характеристики используют ХХХ, характеристику к. з. и расчетное реактивное

сопротивление $X_р$. На чертежи наносят XXX и характеристику трехфазного к. з.

Расчетные точки для построения регулировочной характеристики получают при трех-четырех значениях тока статора для заданных значений $\cos\varphi$ и напряжения $U_{ном}$.

На рис. VII.21 показано, как находится одна из точек регулировочной характеристики при номинальном значении тока статора $I_{ном}$. Аналогично определяют и другие точки регулировочной харак-

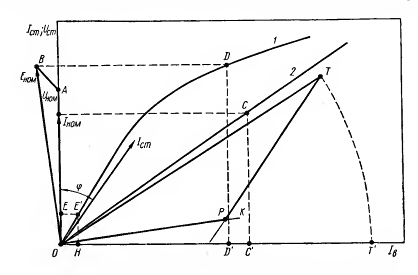


Рис. VII.21. Диаграмма ЭМДС синхронного генератора и схема определения одной из точек регулировочной характеристики: 1 — XXX; 2 — ХКЗ.

теристики при значениях тока статора $^1/_4$; $^1/_2$ и $^3/_4$ $I_{ном}$. Точка регулировочной характеристики для номинального тока статора при заданных значениях $\cos\varphi$ и напряжения определяют следующим образом.

По оси ординат откладывают вектор напряжения $U_{ном}$ (OA), а под фазовым углом, отложеным по часовой стрелке к нему,— вектор тока статора $I_{ст}$. Затем перпендикулярно вектору тока статора из вершины вектора $U_{ном}$ проводят вектор падения напряжения в реактивном сопротивлении рассеяния AB. Величина реактивного сопротивления рассеяния $X_р$ может быть принята равной примерно 0,9—0,95 сверхпереходного реактанса по продольной оси или определена графическим путем.

Величина отрезка падения напряжения AB равна произведению тока статора $I_{ном}$ на расчетное реактивное сопротивление X_p. Линия OB, соединяющая конец вектора падения напряжения AB с началом координат, является вектором э. д. с. обмотки статора $E_{ном}$. Через вершину этого вектора (точку B) проводят прямую, параллельную оси абсцисс до пересечения с ХХХ (точка D). Из точки пересечения на ось абсцисс опускают перпендикуляр DD'. После этого из начала координат проводят линию OK, перпендикулярную вектору э. д. с. $E_{ном}$ (линия OB). На этой линии откладывают отрезок OP, равный отрезку OD'. По оси ординат от ее начала откладывают величину тока статора $I_{ном}$; через полученную точку проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с характеристикой трехфазного к. з. (точка C). Из точки C опускают перпендикуляр на ось абсцисс (CC').

От начала координат по оси ординат откладывают отрезок OE, равный отрезку AB. Через точку E проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с ХХХ (точка E'). Из полученной точки на ось абсцисс опускают перпендикуляр до пересечения в точке H.

Через точку P проводят прямую, параллельную вектору тока статора $I_{ст}$, от точки P откладывают отрезок PT, равный отрезку HC'. Точку T соединяют с началом координат.

На оси абсцисс от начала координат откладывают отрезок OT', равный отрезку OT, который соответствует току возбуждения $I_в$, при номинальном токе статора и заданных значениях $\cos\varphi$ и U.

Регулировочные характеристики строят для нескольких значений коэффициента мощности.

10. Испытание СМ на нагрев

Общие положения по этому испытанию для всех ЭМ, данные об изоляционных материалах, применяемых в них, методы измерения температур изложены в гл. V.

При испытании СМ на нагрев применяют все методы измерения температур, предусмотренные ГОСТом 183—55: а) метод сопротивления — для обмотки ротора; б) метод заложенных температурных детекторов — для обмотки и стали статора; в) метод встраиваемых температурных детекторов — для любых неподвижных частей машин (кроме лобовых частей обмоток ВН); г) метод термометра — главным образом для измерения температуры охлаждающего газа (воздуха или водорода) или жидкости.

Предельно допустимые превышения температуры частей СМ определены ГОСТами 183—55; 533—51; 5616—50; 609—54 (табл. VII.10).

Таблица VII.10

Предельно допустимые превышения температуры частей СМ, °С

Наименование частей машины	Мощность машины	Температура охлаждающего воздуха, °С		
		40	30	20
Турбогенераторы:				
обмотка статора . . .	До 12000 *квт*	65	75	85/75
	Свыше 12000 *квт*	65	75	
обмотка ротора	До 12000 *квт*	90	100	110/100
	Свыше 12000 *квт*	90	100	
активная сталь	До 12000 *квт*	65	75	85/75
	Свыше 12000 *квт*	65	75	
Синхронные компенсаторы:				
обмотка статора . . .	5000—30000 *ква*	65	—	—
обмотка ротора	5000—30000 *ква*	90	—	—
Гидрогенераторы:				
обмотка статора . . .	1000 *ква* и больше	—	70 (при температуре воздуха 35° С)	

Примечания.

1. При использовании для обмоток турбогенераторов мощностью до 6000 *квт* включительно пропиточных составов (компаундов) с температурой размягчения выше 105°С (ГОСТ 2400—51) указанное в таблице предельно допустимое превышение температуры ОС и активной стали может быть соответственно увеличено согласно ТУ.

2. Если для ТГ применяется более теплостойкая изоляция, чем изоляция класса В, предельно допустимое превышение температуры устанавливается ТУ.

Испытание на нагрев СМ, предназначенных для продолжительного режима работы, производят, согласно ГОСТу 183—55, методом непосредственной нагрузки или методом косвенного нагрева. Предпочтительным является метод непосредственной нагрузки, включающий режим, который соответствует номинальным данным испытуемой машины.

Согласно ГОСТу 10169—62, степень нагрева СМ определяют методом непосредственной нагрузки при работе испытуемой машины в режиме генератора, двигателя или компенсатора (в зависимости от ее назначения).

Испытание производят при трех-четырех различных нагрузках в пределах от 0,6 номинальной мощности до максимально возможной (по условиям испытания); коэффициент мощности должен быть по возможности близким к номинальному. При каждом испытании определяют превышение температуры обмоток и стали над температурой

охлаждающей среды. Данные испытаний при различных нагрузках дают возможность построить зависимость превышения температуры испытуемой части машины от квадрата тока в ее обмотке. Превышение температуры, соответствующее номинальной нагрузке, определяют, экстраполируя полученную кривую.

Для машин мощностью до 10 000 *ква* включительно допускается определять нагрев при одном режиме, соответствующем номинальным данным машины.

СМ, которые не могут быть нагружены непосредственно, испытывают методом косвенного нагрева. Сущность его состоит в том, что машину подвергают нагреву от различных потерь при номинальной нагрузке. К этим потерям относят:

1) основные потери в ОС (якоре) и добавочные потери к. з., принимаемые пропорциональными квадрату тока статора (якоря);

2) основные потери на гистерезис и вихревые токи в стали якоря и добавочные потери на активных поверхностях стали статора (якоря) и ротора (индуктора) при холостом ходе, принимаемые пропорциональными квадрату напряжения;

3) потери на возбуждение в обмотке ротора (индуктора) пропорциональные квадрату тока возбуждения и сопротивлению обмотки ротора в нагретом состоянии;

4) вентиляционные потери (потери на трение ротора об охлаждающую среду и охлаждающей среды о статор, трение охлаждающей среды в вентиляторах при замкнутом цикле вентиляции).

Согласно ГОСТу 10169—62, испытание на нагрев косвенным методом проводят при работе испытуемой машины в режиме СК или в режимах холостого хода и короткого замыкания. Испытание в режиме синхронного компенсатора — основной метод испытаний на нагрев для синхронных компенсаторов и предпочтительный косвенный для синхронных генераторов и двигателей.

В режиме СК испытание на нагрев проводят двумя способами.

1. Для определения температуры ОС (якоря) устанавливают номинальные ток и напряжение его. Если ток возбуждения больше допустимого, проводят три-четыре испытания на нагрев при номинальном напряжении и токах статора, меньших номинального. Одно из испытаний должно быть при токе статора, соответствующем номинальному току возбуждения. Превышение температуры обмотки, соответствующее номинальному току статора, определяют экстраполяцией. Полученное значение, как правило, принимают без поправки.

2. Если потери в стали испытуемой машины равны или меньше потерь в меди (основных и добавочных), испытание на нагрев в режиме компенсатора проводят при пониженном напряжении и номинальных токах статора (якоря) и возбуждения.

Из этого испытания непосредственно определяют превышение температуры обмоток статора и возбуждения, пренебрегая понижением нагрева вследствие уменьшения потерь в стали. Если понижением нагрева вследствие уменьшения потерь в стали пренебречь нельзя, проводят дополнительно еще два опыта холостого хода: один при пониженном напряжении, соответствующем опыту с номинальными токами статора (якоря) и возбуждения, второй при номинальном напряжении. Разность превышений температуры ОС в этих двух опытах дает непосредственно поправку, учитывающую разность потерь в стали при номинальном и пониженном напряжениях.

Для определения температурной поправки ОВ строят зависимость превышения ее температуры от потерь в ОВ во всех трех испытаниях. Через точку, полученную при номинальном токе статора, номинальном токе возбуждения и пониженном напряжении, и точку, полученную при холостом ходе и том же пониженном напряжении, проводят прямую. Тогда точка, соответствующая холостому ходу при номинальном напряжении, будет лежать выше этой прямой на величину поправки.

Чтобы определить температуру обмоток машины на основании опытов холостого хода и короткого замыкания, проводят испытание на нагрев в следующих режимах.

1. Короткое замыкание при номинальном токе статора и номинальной скорости вращения. Определяют нагрев, обусловленный основными, добавочными и механическими потерями и, частично, потерями на возбуждение.

2. Холостой ход при номинальном напряжении. Определяют нагрев, обусловленный потерями в стали, механическими потерями и пониженными потерями на возбуждение.

3. Холостой ход при повышенном напряжении $U_п = 1{,}2 \pm 0{,}05 U_{ном}$. В этом режиме (в отличие от режима 2) потери на возбуждение примерно равны номинальным, потери в стали повышены. Для машин с номинальным напряжением 3 *кв* и больше это испытание проводят при разомкнутой нейтрали.

4. Холостой ход без возбуждения. В этом режиме определяют нагрев, обусловленный только механическими потерями.

Превышение температуры ОС (якоря) над температурой охлаждающей среды определяют (в зависимости от требуемой точности) либо с учетом влияния нагрева отдельных частей машины друг на друга, либо приближенно, без учета этого влияния. В последнем случае превышение температуры ν обмотки статора (якоря) над температурой охлаждающей среды при номинальных значениях напряжения, тока статора (якоря) и коэффициента мощности определяют по формуле

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \nu_4, \qquad \text{(VII.15)}$$

где ν_1, ν_2 и ν_4 — превышение температуры обмотки статора (якоря) над температурой охлаждающей среды соответственно в режимах 1, 2 и 4.

Превышение температуры ОВ определяют из всех испытаний и наносят на график в функции потерь ($I_в^2 R_в$). Превышение температуры, соответствующее номинальному току возбуждения, определяют, экстраполируя кривую.

Определение превышения температуры части машины

Превышение температуры части машины, полученное при испытании на нагрев в четырех указанных выше режимах, можно определить по формулам

$$\nu_1 = \nu_к + \left(\frac{I_к}{I_{ном}}\right)^2 \beta_1 \nu_в + \nu_т; \quad \text{(VII.16)}$$

$$\nu_2 = \nu_{ст} + \left(\frac{I_в}{I_{в.\,ном}}\right)^2 \beta_2 \nu_в + \nu_т; \quad \text{(VII.17)}$$

$$\nu_3 = \nu_{ст} + \left(\frac{U_п}{U_{ном}}\right)^2 \beta_3 \nu_в + \nu_т; \quad \text{(VII.18)}$$

$$\nu_4 = \nu_т, \quad \text{(VII.19)}$$

где β_1, β_2, β_3 — коэффициенты, учитывающие увеличение сопротивления обмотки индуктора в нагретом состоянии; ν_1, ν_2, ν_3, ν_4 — значения превышения температуры части машины, полученные в четырех режимах; ν_k — превышение температуры части машины за счет основных потерь в ОС (якоря) и добавочных потерь при номинальном токе статора (якоря) $I_{ном}$; $\nu_{ст}$ — то же, но за счет потерь в стали при номинальном напряжении $U_{ном}$; $\nu_в$ — то же, но за счет потерь на возбуждение при номинальном токе возбуждения $I_{в.\,ном}$, при обмотке индуктора, имеющей температуру 15° С; $\nu_т$ — то же, но за счет механических потерь.

Коэффициент

$$\beta = \frac{235 + t_0 + \nu_i}{250}, \quad \text{(VII. 20)}$$

где t_0 — температура охлаждающей среды во время испытания; ν_i — превышение температуры части машины, полученное при i-м режиме испытания на нагрев (короткого замыкания при $I_{ном}$, холостого хода при $U_{ном}$, холостого хода при $I_{в.\,ном}$).

Решая систему уравнений (VII.16) — (VII.19) относительно не-

известных $\nu_к$, $\nu_{ст}$ и $\nu_в$, определяют искомое превышение температуры части машины при нормальном режиме:

$$\nu_н = \nu_к + \nu_{ст} + \beta' \nu_в + \nu_т, \qquad (VII. 21)$$

где β' — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления обмотки индуктора в нагретом состоянии при предельно допустимом превышении температуры обмотки $t_0 = 35°$ С в соответствии с классом ее изоляции (табл. VII. 11).

Таблица VII. 11

Значения коэффициента β'

Тип обмотки статора	Класс изоляции	Допустимое превышение температуры при номинальном режиме, °С	$\beta' = \frac{235+35+\nu_i}{250}$
Однорядная . . .	А	70	1,36
Однорядная . . .	В	95	1,46
Многорядная . .	А	65	1,34
Многорядная . .	В	85	1,42

11. Определение потерь и к. п. д.

Общие положения о к. п. д. ЭМ и применяемых методах определения его и потерь мощности изложены в гл. V. Для синхронных машин к. п. д. находят косвенным методом отдельных потерь. При этом различают следующие виды потерь: а) в стали; б) механические; в) основные в цепях рабочих обмоток; г) переходных контактах щеток; д) на возбуждение; е) добавочные.

Чтобы определить указанные потери, необходимы данные о сопротивлении обмоток статора и ротора, потерях холостого хода, добавочных потерях короткого замыкания, токе возбуждения при нагрузке.

Потери в стали и механические потери, а также добавочные потери в СМ мощностью больше 100 *ква* определяют одним из следующих способов: 1) самоторможения (только для машин со значительным моментом инерции ротора); 2) калориметрическим; 3) тарированного двигателя.

Добавочные потери СМ мощностью до 100 *ква* включительно учитывают приближенно в размере 0,5% полезной мощности для генераторов и подводимой мощности для двигателей. Указанная величина добавочных потерь относится к номинальной мощности машины. При мощности, отличающейся от номинальной, добавочные потери пересчитывают пропорционально квадрату тока.

Основные потери в обмотке статора (якоря) $P_м$ вычисляют по току и омическому сопротивлению обмотки, приведенному к расчетной рабочей температуре 75° C:

$$P_м = mI^2R \ [вт]. \qquad (VII. 23)$$

Потери в переходных контактах щеток каждой полярности рассчитывают по току и падению напряжения под щетками одной полярности. Падение напряжения принимают независящим от тока и равным для угольных и графитных щеток 1 *в*, для металлоугольных щеток 0,3 *в*. Эти потери равны произведению тока нагрузки на переходное падение напряжения и число щеток.

В СМ с возбуждением от независимого источника потери на возбуждение вычисляют по току возбуждения и омическому сопротивлению ОВ, приведенному к расчетной рабочей температуре 75° C. Они равны произведению квадрата тока возбуждения на сопротивление ОВ. Для пристроенного возбудителя к потерям на возбуждение прибавляют потери в возбудителе.

При определении потерь способом самоторможения испытуемую СМ вращают при помощи соответствующего первичного двигателя. Доводя скорость вращения до значения, выше номинального, отключают источник энергии.

Согласно ГОСТу 10169—62, для определения потерь способом самоторможения проводят три опыта: 1) самоторможение без возбуждения; 2) самоторможение при холостом ходе и номинальном напряжении на выводах разомкнутой ОС (якоря); 3) самоторможение при симметричном к. з. на выводах машины и номинальном токе в ОС (якоре).

Возбуждение испытуемой машины на время опытов осуществляют от отдельно стоящего агрегата возбуждения. Во всех трех опытах определяют время, в течение которого скорость вращения изменится от 1,1 до 0,9 номинальной. Турбогенераторы допускается испытывать в диапазоне 1,05—0,95 номинальной скорости вращения. Отсчеты по приборам, измеряющим электрические величины, ведут в момент прохождения испытуемой машиной синхронной скорости. Каждый опыт повторяют не менее трех раз, в расчет принимают средние значения измеренных величин.

Из первого опыта определяют механические потери испытуемой машины:

$$P_{мех} = Cn_{ном} \frac{\Delta n}{\Delta t_1}. \qquad (VII. 24)$$

Согласно второму опыту вычисляют сумму механических потерь и потерь в стали:

$$P_{мех} + P_{ст} = Cn_{ном} \frac{\Delta n}{\Delta t_2}. \qquad (VII. 25)$$

Из третьего опыта вычисляют сумму потерь $P_{мех}$, $P_{м}$ и $P_{д}$, пренебрегая потерями $P_{ст}$:

$$P_{мех} + P_{м} + P_{д} = Cn_{ном} \frac{\Delta n}{\Delta t_3}. \qquad (VII.26)$$

Здесь Δt_1, Δt_2, Δt_3 — время, в течение которого скорость машины изменяется на величину Δn соответственно в первом, втором и третьем опытах; $n_{ном}$ — номинальная скорость вращения машины, *об/мин*; C — постоянная самоторможения, *квт · сек/(об/мин)*^{2}.

Потери в стали определяют как разность потерь, измеренных во втором и первом опытах. Если при проведении опытов напряжение на выводах машины отличалось от номинального, потери в стали пересчитывают пропорционально квадрату напряжений.

Основные потери в меди и добавочные потери определяют как разность потерь, измеренных в третьем и первом опытах. Если при проведении опыта ток статора (якоря) отличался от номинального, основные потери в меди и добавочные потери пересчитывают пропорционально квадрату токов.

Величина добавочных потерь определяется после вычисления основных потерь в меди (в ОС) по формуле (VII. 23). При неизвестной величине махового момента испытуемой машины постоянную самоторможения C находят одним из следующих способов.

1. Дополнительно к трем опытам самоторможения определяют сумму механических потерь и потерь в стали в режиме двигателя. СМ должна вращаться в холостую при номинальном напряжении и номинальной частоте. Возбуждение машины регулируется так, чтобы по ОС проходил минимальный ток.

Мощность, подводимую к ОС машины при испытании (за вычетом основных потерь от тока холостого хода), принимают равной сумме потерь в стали и механических потерь. При получении машиной возбуждения от пристроенного к ней возбудителя мощность, теряемую на возбуждение, вычитают из подводимой к машине мощности, а механические потери пристроенного возбудителя относят к механическим потерям машины.

Постоянную C находят по следующей формуле:

$$C = \frac{P_{мех} + P_{ст}}{n_{ном} \frac{\Delta n}{\Delta t_2}}. \qquad (VII.27)$$

2. Дополнительно к трем проводится четвертый опыт самоторможения. В этом опыте испытуемая машина работает на известную нагрузку P, например, на трансформатор, потери холостого хода и короткого замыкания которого измеряют непосредственно перед

испытанием. Сумму потерь и постоянную рассчитывают по таким формулам.

При торможении потерями холостого хода трансформатора (пренебрегая потерями $P_м + P_д$)

$$P_{мех} + P_{ст} + P = Cn_{ном} \frac{\Delta n}{\Delta t_4}; \qquad \text{(VII. 28)}$$

$$C = \frac{P}{n_{ном} \left(\frac{\Delta n}{\Delta t_4} - \frac{\Delta n}{\Delta t_3} \right)}. \qquad \text{(VII. 29)}$$

При торможении потерями короткого замыкания трансформатора (пренебрегая потерями $P_{ст}$)

$$P_{мех} + P_м + P_д + P = Cn_{ном} \frac{\Delta n}{\Delta t_4}; \qquad \text{(VII. 30)}$$

$$C = \frac{P}{n_{ном} \left(\frac{\Delta n}{\Delta t_4} - \frac{\Delta n}{\Delta t_3} \right)}. \qquad \text{(VII. 31)}$$

Здесь Δt_4 — время, в течение которого скорость вращения машины в четвертом опыте изменится на величину Δn.

При опытах самоторможения на СГ, сопряженном с первичным двигателем, для разделения механических потерь между генератором и двигателем выполняют два опыта холостого хода в режиме двигателя с $\cos \varphi = 1$: один вместе с первичным двигателем, другой — без него. Это позволяет раздельно определять механические потери в испытуемом СГ.

Когда валы разъединить нельзя, механические потери между генератором и первичным двигателем разделяют, согласно ГОСТу 10169—62, следующим образом.

1. Гидротурбинные агрегаты. Из опыта самоторможения при осушенной полости турбины определяют механические потери всего агрегата. При этом следят, чтобы вода не просачивалась через направляющий аппарат. Уровень воды во всасывающей трубе должен быть достаточно низок для предотвращения захвата воды воздушным вихрем, создаваемым вращающимся ротором турбины.

Потери на трение ротора турбины о воздух при осушенной полости турбины вычисляют по эмпирическим формулам, согласованным между предприятиями-поставщиками турбины и генератора. Остаток от вычитания вычисленных таким образом потерь из общих механических потерь агрегата — механические потери в генераторе.

Потери в подпятниках (потери в направляющем подшипнике сравнительно невелики и ими можно пренебречь) определяют каллориметрическим способом, а их разделение между генератором и тур-

биной — по соглашению между предприятиями-поставщиками турбины и генератора.

2. Паротурбинные агрегаты. Механические потери в генераторе, состоящие из потерь на вентиляцию и на трение в подшипниках, определяют каллориметрическим способом.

Каллориметрический способ определения потерь применяется для СМ, конструкция которых допускает измерение расхода охлаждающей среды (газообразной или жидкой) и повышения температуры среды при прохождении через машину. Расход охлаждающей среды измеряют при помощи приборов, обычно применяемых для этих измерений.

Потери мощности определяются количеством тепла, которое отводится охлаждающей средой при установившемся тепловом состоянии машины:

$$P = 4{,}18 V_c c_v (t_2 - t_1), \qquad \text{(VII. 32)}$$

где V_c — объемный расход охлаждающей среды, *м³/сек*;

c_v — объемная теплоемкость охлаждающей среды, *ккал/м³·град*;

t_1 и t_2 — температура охлаждающей среды соответственно при входе в машину и при выходе из нее.

При выражении объемной теплоемкости охлаждающей среды c_v в единице измерения *кдж/м³·град* коэффициент 4,18 в формуле (VII. 32) исключается.

Потери на трение в опорах при проточной принудительной смазке или самосмазке с охлаждением масла проточной водой определяют каллориметрическим способом.

Величина потерь в синхронных компенсаторах с воздушным охлаждением мощностью от 5000 до 30000 *ква* нормируется ГОСТом 609—54 (табл. VII. 12).

Таблица VII. 12

Потери в СК с воздушным охлаждением

Номинальная мощность при опережающем токе, *ква*	Номинальная скорость вращения, *об/мин*	Потери при номинальном режиме, *квт*
5000	1000	160
7500	1000	185
10000	750	225
15000	750	300
30000	750	580

12. Сопротивления и постоянные времени СМ

Активные и реактивные сопротивления обмоток характеризуют стационарные и нестационарные режимы работы СМ.

В испытательно-наладочной практике принято определять следующие сопротивления, отнесенные к одной фазе обмотки:

1) активные сверхпереходные сопротивления по продольной и поперечной осям R''_d и R''_q;

2) активиое и реактнвиое сопротнвлення обмоткн статора обратиой последовательиости R_2 н X_2;

3) реактивное сопротивлеиие иулевой последовательиости X_0;

4) сиихроиные реактивиые сопротивления по продольиой н поперечиой осям X_d и X_q;

5) расчетиое реактивиое сопротивлеиие X_p;

6) переходиое реактнвиое сопротивлеиие по продольиой оси X'_d;

7) сверхпереходные реактивиые сопротивлеиия по продольной н поперечной осям X''_d и X''_q;

8) реактивное сопротивлеиие при удаленном индукторе X_b.

Активные сверхпереходные сопротивления

При определеиии активных сверхпереходиых сопротивлений применяют следующий метод. Все фазы ОС питают попарио пониженным иапряжением однофазиого перемениого тока при неподвижном роторе (рис. VII. 22). Напряжение перемеииого тока подается илн от понижающего траисформатора (12—60 *в*), или от сети (220—380 *в*). При этом измеряют токи, иапряження и актнвиые мощиости:

$$I_{AB};\ I_{BC};\ I_{AC};\ U_{AB};\ U_{BC};\ U_{AC};$$
$$P_{AB};\ P_{BC};\ P_{AC}.$$

Рис. VII.22. Схема включеиия приборов при определении сверхпереходных активиых и реактивных сопротивлеиий СМ.

Чтобы исключить влияние сопротнвления подводящнх проводов н переходных коитактов, вольтметр и цепи напряжения ваттметра присоедняяют отдельиыми проводниками к выводам машииы.

Обмотку ротора замыкают накоротко и нзмеряют в ней ток. Ожидаемые ток н мощность, потребляемые прн опыте:

$$I = \frac{US_{ном}}{2 \cdot 0{,}15\, U^2_{ном}}\,[a]; \qquad \text{(VII. 33)}$$

$$P = UI \cos \varphi_к\,[вт], \qquad \text{(VII. 34)}$$

где U — напряженне источника питаиия, *в*; $U_{ном}$ — номииальиое лииейное напряжеиие СМ, *кв*; $S_{ном}$ — иоминальиая мощиость СМ, *мва*; $\cos \varphi_к$ — коэффициеит мощиости, прниимаемый в пределах 0,2—0,4.

На основе пронзведеиных измереиий определяют полиые индуктивиые н активиые сопротивлеиня, отнесенные к одиой фазе обмотки:

$$Z_{AB} = \frac{U_{AB}}{2I_{AB}},\ Z_{BC} = \frac{U_{BC}}{2I_{BC}},\ Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{2I_{AC}}; \qquad \text{(VII. 35)}$$

$$R_{AB}=\frac{P_{AB}}{2I_{AB}^2},\quad R_{BC}=\frac{P_{BC}}{2I_{BC}^2},\quad R_{AC}=\frac{P_{AC}}{2I_{AC}^2};\qquad \text{(VII. 36)}$$

$$X_{AB}=\sqrt{Z_{AB}^2-R_{AB}^2},\quad X_{BC}=\sqrt{Z_{BC}^2-R_{BC}^2},\quad X_{AC}=\sqrt{Z_{AC}^2-R_{AC}^2}.\qquad \text{(VII. 37)}$$

Затем вычисляют средние значения сопротивлений (*ом*):
полного

$$Z_{ср}=\frac{Z_{AB}+Z_{BC}+Z_{AC}}{3};\qquad \text{(VII. 38)}$$

индуктивного

$$X_{ср}=\frac{X_{AB}+X_{BC}+X_{AC}}{3};\qquad \text{(VII. 39)}$$

активного

$$R_{ср}=\frac{R_{AB}+R_{BC}+R_{AC}}{3}.\qquad \text{(VII. 40)}$$

Активные сопротивления по продольной и поперечной осям:

$$R''_d=R_{ср}-\Delta R;\qquad \text{(VII. 41)}$$

$$R''_q=R_{ср}+\Delta R,\qquad \text{(VII. 42)}$$

где

$$\Delta R=0{,}67\sqrt{R_{AB}(R_{AB}-R_{BC})+R_{BC}(R_{BC}-R_{AC})+R_{AC}(R_{AC}-R_{AB})}.\qquad \text{(VII. 43)}$$

Приведенное к статору среднее активное сопротивление ротора $R_{р\ ср}$ и активные сопротивления ротора по продольной $R''_{р.\ d}$ и поперечной $R''_{р.\ q}$ осям при частоте тока в роторе 50 *гц* определяют по формулам

$$R_{р.\ ср}=R_{ср}-R_{ст};\qquad \text{(VII. 44)}$$

$$R''_{р\ d}=R''_d-R_{ст};\qquad \text{(VII. 45)}$$

$$R''_{р.\ q}=R''_q-R_{ст},\qquad \text{(VII. 46)}$$

где $R_{ст}$ — принимается равным $(2\div3)\ R$ для генераторов, имеющих непрерывную изоляцию обмотки статора и $(4\div5)\,R$ для генераторов, имеющих гильзовую изоляцию; R сопротивление одной фазы ОС постоянному току.

Активные сопротивления статора $R_{ст}$ можно определить, зная потери в статоре генератора при номинальном токе в режиме трехфазного к. з. $P_{к.\ з}$:

$$R_{ст}=\frac{P_{к.\ з}}{3I_{ном}^2}.\qquad \text{(VII. 47)}$$

Активное сопротивленне обратной последовательности ротора $R_{2р}$ н генератора в целом R_2:

$$R_{2р} = \sqrt{2}\, R_{р.\,ср};\qquad (VII.\,48)$$

$$R_2 = R_{ст} + \sqrt{2}\, R_{р.\,ср}.\qquad (VII.\,49)$$

Активное и реактивное сопротивления обратной последовательности СМ

ГОСТ 10169—62 рекомендует определять эти сопротивления методом питания вращающейся с постоянной скоростью машины от постоянного источника симметричного напряженния, равного 0,02—0,15 номинального, с обратным чередованием фаз, т. е. в режиме электромагнитного тормоза со скольжением 200%. Обмотку возбуждения при этом замыкают накоротко.

Если остаточное напряжение машнны превышает 30% напряжения источника, перед испытанием размагничивают ротор машины. Прн испытаниях измеряют напряжение и ток во всех трех фазах и подводимую мощность.

Активное сопротивление обратной последовательностн

$$R_2 = \frac{P - P_{ст}}{3I_{ср}^2}\,[ом],\qquad (VII.\,50)$$

где P — подводимая мощность, *вт*; $P_{ст}$ — потери в сталн статора, прнведенные к среднему линейному напряженню прн испытаниях, *вт*; $I_{ср}$ — средннй измеренный ток, *а*.

Реактивное сопротивление обратной последовательности

$$X_2 = \frac{\sqrt{3U_{ср}^2 I_{ср}^2 - (P - P_{ст})^2}}{3I_{ср}^2}\,[ом],\qquad (VII.\,51)$$

где $U_{ср}$ — среднее нзмеренное напряженне, *в*.

При известных значениях сверхпереходных реактивных сопротивлений по продольной и поперечной осям (X_d'' н X_q'') реактивное сопротивление обратной последовательности, согласно ГОСТу 10169—62:

$$X_2 = \sqrt{X_d'' X_q'}.\qquad (VII.\,52)$$

Реактивное сопротивление нулевой последовательности

ГОСТ 10169—62 рекомендует определять это сопротнвление при однофазном питанин ОС (якоря) испытуемой машнны, вращающейся с номинальной скоростью (нли близкой к номинальной). При этом все три фазы ОС соединяют последовательно (в разомкнутый треугольник). Обмотку возбуждения замыкают накоротко.

Если число выводов ОС (якоря) меиьше шести, реактивиое сопротивление иулевой последовательности X_0 допускается определять при параллельиом соедииеиии фаз обмотки. Подводимое иапряжение выбирают так, чтобы ток в обмотке ие был больше иоминальиого.

Реактивиое сопротивление иулевой последовательиости вычисляют (без учета активиого сопротивлеиия иулевой последовательиости) по таким формулам:

последовательиое соедииеиие фаз обмоток

$$X_0 = \frac{U_п}{3I_{пт}} [ом]; \qquad (VII.\ 53)$$

параллельиое соедииеиие фаз обмоток

$$X_0 = \frac{3U_п}{I_{пт}} \qquad (VII.\ 54)$$

где $U_п$ — подведеииое иапряжеиие, *в*; $I_{пт}$ — потребляемый ток, *а*. При этом предпочтение отдается определеиию X_0 при последовательиом соедииеиии обмоток всех фаз. Величииу X_0 можио также определить методом замыкаиия двух фаз иа иейтраль обмотки статора (ГОСТ 10169—62)

Синхронные реактивные сопротивления

Сиихроииое реактивиое сопротивление по продольиой оси X_d предпочтительио определять по характеристикам холостого хода и короткого замыкаиия, как частиое от делеиия иапряжеиия холостого хода, взятого по продолжеиию прямолииейиой части *XXX* при иекотором возбуждеиии, на ток симметричиого к. з., взятый по характеристике к. з. при том же токе возбуждеиия. Если характеристики построеиы в отиосительиых едииицах, все реактивиые сопротивлеиия выражаются в относительиых едииицах.

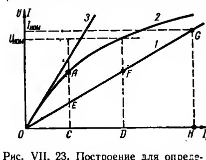


Рис. VII. 23. Построение для определения синхронного реактивного сопротивления:
1 — XXX; 2 — характеристика к. з.; 3 — спрямленвая XXX.

Определеииое таким образом зиачение X_d соответствует иенасыщеииому состояиию машииы (ГОСТ 10169—62).

Согласио рис. VII. 23, сиихроииое реактивиое сопротивлеиие по продольиой оси

$$X_d = \frac{AC}{CE} \qquad (VII.\ 55)$$

По характеристикам, приведенным на рис. VII. 23, определяют также отношение к. з. (ОКЗ) путем деления установившегося тока симметричного к. з. при возбуждении, соответствующем номинальному напряжению по XXX, FD на номинальный ток статора GH (ГОСТ 10169—62):

$$\text{ОКЗ} = \frac{FD}{GH}. \qquad \text{(VII. 56)}$$

Синхронное реактивное сопротивление по поперечной оси X_q предпочтительно определять методом отрицательного возбуждения при работе испытуемой машины параллельно с сетью без активной нагрузки. Ток возбуждения сначала уменьшают до нуля, изменяют его полярность, а затем постепенно увеличивают до тех пор, пока машина не перейдет в асинхронный режим. При этом синхронное реактивное сопротивление по поперечной оси

$$X_q = X_d \frac{U_1}{U_1 + U_{xx}}, \qquad \text{(VII. 57)}$$

где U_{xx} — напряжение холостого хода, определяемое по спрямленной XXX, проведенной через точку, соответствующую напряжению U_1 в момент нарушения синхронизма при токе возбуждения $I_{\text{в. кз}}$; X_d — синхронное реактивное сопротивление по продольной оси, определенное по той же спрямленной XXX.

Если напряжение при испытании соответствует номинальному, значение X_q может быть определено как отношение напряжения к току статора (якоря), соответствующему максимальному отрицательному возбуждению, при котором еще происходит устойчивая работа машины. Из этого опыта получают насыщенное значение X_q (ГОСТ 10169—62). Синхронные реактивные сопротивления по продольной и поперечным осям машины можно также определить методом скольжения (ГОСТ 10169—62).

Расчетное реактивное сопротивление

Согласно ГОСТу 10169—62, величину расчетного реактивного сопротивления X_p определяют графически по характеристикам холостого хода, короткого замыкания и по точке нагрузочной характеристики, соответствующей номинальным значениям напряжения и тока статора (якоря) с коэффициентом мощности, равным нулю при перевозбуждении (точка A на рис. VII. 24). Все построения целесообразно производить в относительных единицах.

Влево от точки A параллельно оси абсцисс откладывают отрезок AB, равный току возбуждения $I_{\text{в. кз}}$ (отрезок OG) при номинальном токе статора (якоря) по характеристике к. з. Из точки B прово-

дят прямую, параллельную начальной части XXX до пересечения с последней в точке C. Из точки C на линию AB опускают перпендикуляр. Тогда

$$X_p = \frac{CD}{I_{ном}}, \qquad (VII.58)$$

где CD — отрезок, характеризующий падение напряжения на расчетном реактивном сопротивлении при номинальном токе статора.

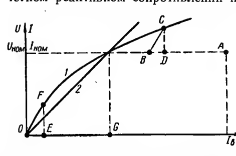


Рис. VII.24. Построение для определения величины расчетного реактивного сопротивления:
1 — XXX; 2 — XКЗ.

По ХКЗ определяют ток возбуждения $I_{в\,кз}$, соответствующий номинальному току статора (якоря). Вычисляют составляющую тока возбуждения $I_я$, компенсирующую реакцию якоря при номинальном токе. Разность $I_{в.кз} - I_я$ откладывают по оси абсцисс от начала координат (отрезок OE на рис. VII.24). Из точки E восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой 1. Тогда

$$X_p = \frac{EF}{I_{ном}}, \qquad (VII.59)$$

где EF — отрезок, представляющий падение напряжения на расчетном реактивном сопротивлении при номинальном токе статора (якоря).

Переходное реактивное сопротивление по продольной оси

Это сопротивление может быть определено: 1) методом внезапного короткого замыкания или 2) методом восстановления напряжения (ГОСТ 10169—6). Первый метод предпочтителен.

Согласно первому методу, переходное реактивное сопротивление по продольной оси в относительных единицах

$$X'_d = \frac{U}{I_{кз} + \Delta I'_{к0}}, \qquad (VII.60)$$

где U — напряжение, измеренное на выводах разомкнутой обмотки статора непосредственно перед опытом внезапного короткого замыкания;

$I_{кз}$ — установившийся ток к.з.;

$\Delta I'_{ко}$ — начальное значение переходной составляющей тока к.з.

Если известны синхронное реактивное сопротивление по продольной оси X_d, переходные постоянные времени по продольной оси при разомкнутой T'_{d0} и замкнутой T'_d обмотке статора (якоря), то

$$X'_d = X_d \frac{T'_d}{T'_{d0}}. \qquad \text{(VII.61)}$$

Сверхпереходные реактивные сопротивления по продольной и поперечной осям

Согласно ГОСТу 10169—62, эти сопротивления могут быть определены: а) методом внезапного к.з.; б) по осциллограмме восстановления напряжения статора (якоря) после отключения симметричного к.з.; в) путем отключения машины, подключенной к источнику трехфазного пониженного напряжения, вращающейся со скоростью, близкой к синхронной при замкнутой накоротко ОВ; г) методом поворота ротора; д) при неподвижном роторе.

Метод внезапного к.з. предпочтительный. Согласно этому методу, сверхпереходное реактивное сопротивление по продольной оси в относительных единицах

$$X''_d = \frac{U}{I_{\text{кз}} + \Delta I'_{\text{к0}} + \Delta I''_{\text{к0}}}, \qquad \text{(VII.62)}$$

где U, $I_{\text{кз}}$ и $\Delta I'_{\text{к0}}$ — те же величины, что указаны в формуле (VII.60);
$\Delta I''_{\text{к0}}$ — начальное значение сверхпереходной составляющей тока.

При определении сверхпереходных сопротивлений по продольной и поперечной осям методом поворота ротора источник переменного тока синусоидального напряжения номинальной частоты подключают к двум любым линейным выводам ОС (якоря). Обмотка возбуждения должна быть замкнута накоротко. Измеряют напряжение источника, токи в ОС и ОВ и потребляемую мощность. Ток в обмотке возбуждения измеряют для оценки положения ротора по продольной или по поперечной оси).

Согласно ГОСТу 10169—62, для получения ненасыщенных значений сверхпереходных реактивных сопротивлений подводимое напряжение должно составлять 0,02—0,15 номинального напряжения испытуемой машины. Для получения насыщенных значений подводимое напряжение должно быть не ниже 0,7 номинального. В этом случае длительность испытания должна быть ограничена во избежание перегрева ротора.

Поворачивая ротор, находят его положения, соответствующие максимальному и минимальному значениям тока в цепи возбуждения: первое соответствует положению ротора по продольной оси, второе — по поперечной. В этих положениях измеряют ток, напряжение и мощ-

ность в цепи статора и вычисляют сверхпереходное реактивное сопротивление:

$$X'' = \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}\,[ом]. \qquad (VII.63)$$

Когда определяют сверхпереходные реактивные сопротивления по продольной и поперечной осям при неподвижном роторе, поочередно подключают два линейных вывода обмотки статора к источнику тока синусоидального напряжения номинальной частоты.

Значения напряжения и длительности его приложения принимают те же, что и при определении указанных выше сопротивлений методом поворота ротора. При необходимости ротор должен быть заторможен, ОВ замкнута накоротко. Во время испытания измеряют подводимое напряжение, ток и мощность, потребляемые статором (якорем), и ток в цепи возбуждения. Согласно данным испытаний по формулам (VII.37) вычисляют реактивные сопротивления между каждой парой линейных выводов обмотки статора: X_{AB}, X_{BC}, X_{AC}.

Сверхпереходные реактивные сопротивления по продольной и поперечной осям:

$$X_d'' = X_{ср} \mp \Delta X; \qquad (VII.64)$$

$$X_q'' = X_{ср} \pm \Delta X, \qquad (VII.65)$$

где значения $X_{ср}$ находят по формуле (VII.39);

$$\Delta X = 0{,}67\sqrt{X_{AB}(X_{AB} - X_{BC}) + X_{BC}(X_{BC} - X_{AC}) + X_{AC}(X_{AC} - X_{AB})}. \qquad (VII.66)$$

В формулах (VII.64) и (VII.65) знак перед ΔX определяют следующим образом: $X_d'' < X_q''$ — если наибольшему измеренному сопротивлению на одной из пар линейных выводов ОС соответствует минимальный из трех токов в цепи возбуждения; $X_d'' > X_q''$ — если наибольшему измеренному реактивному сопротивлению статора соответствует максимальный из трех токов в цепи возбуждения.

Реактивное сопротивление при удаленном индукторе

Это сопротивление определяют, согласно ГОСТу 10169—62, следующим образом.

Испытание проводят при питании трех фаз ОС от постороннего источника напряжения номинальной частоты. Приборами определяют приложенное линейное напряжение U, линейный ток I и подводимую мощность P. Затем вычисляют реактивное сопротивление фазы статора

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}\,[ом], \qquad (VII.67)$$

где
$$Z = \frac{U}{\sqrt{3}I};\qquad (VII.68)$$
$$R = \frac{P}{3I^2}.\qquad (VII.69)$$

Напряженне нсточннка U подбнрают так, чтобы ток I был ие более иомииального.

Реактнвное сопротнвлеиие при удаленном ннндукторе
$$X_b = X - X_{b_1}\ [ом],\qquad (VII.70)$$
где X_{b_1} — реактивиое сопротнвлеиие, обусловленное потоком на активиой поверхностн статора, создаваемым ОС в том пространстве, которое нормальио занимает ротор.

Для определеиия реактнвиого сопротивлеиня X_{b_1} на активной поверхности (в расточку) статора помещают контрольную катушку, длииа которой равна полной длиие сердечиика статора, а ширина — полюсиому делеиию. Актнвные стороиы этой катушкн укрепляют иад клнньями пазов, а лобовые оттягивают растяжками по раднусам к оси машииы в плоскостях, ограничивающих пакет сердечнннка статора для предохраиеиия от влняиия потоков рассеяиия вокруг лобовых частей обмотки. К контрольной катушке прнсоединяют вольтметр с большнм виутреиним сопротивлеиием.

Реактивиое сопротнвлеиие, обусловленное потоком на актнвиой поверхности статора:
$$X_{b_1} = \frac{U_к}{I}\cdot\frac{wK}{w_к},\qquad (VII.71)$$
где $U_к$ — напряжеиие, измерениое иа контрольиой катушке;
I — лииейиый ток;
w — число последовательно соедииеииых внтков одной фазы ОС;
K — обмоточный коэффнциеит ОС;
$w_к$ — число внтков коитрольной катушки.

Если статор (якорь) имеет дробиое чнсло пазов иа полюс и фазу, ширина коитрольиой катушки должиа быть равиой наибольшему целому чнслу пазов, заключающемуся в полюсиом делении, а X_{b_1} рассчитывают по формуле
$$X_{b_1} = \frac{U_к}{I}\cdot\frac{wK}{w_к \sin\left(\frac{N}{3q}\cdot\frac{\pi}{2}\right)},\qquad (VII.71)$$
где N — иаибольшее целое число пазов, заключениых в полюсном делеиии;
q — дробиое число пазов иа полюс н фазу.

Для определеиия поведеиня СМ при неустановившихся режнмах необходимо знать, кроме актнвных и реактнвных сопротнвлений,

постояииые времени. В испытательно-иаладочной практике определяют следующие постояииые времени:

1) переходиые постояииые времеии по продольиой оси при разомкиутой T'_{d0} и замкиутой T'_d обмотке статора;

2) сверхпереходиые постояииые времеии по продольиой оси при разомкнутой T''_{d0} и замкиутой T''_d обмотке статора;

3) переходиую постояииую времеии по поперечиой оси при разомкиутой обмотке статора T'_{q0};

4) постояииую времеии апериодической составляющей тока статора $T_а$;

5) постояииые времеии коитура возбуждения и успокоительиого коитура по продольной оси при замкиутой иакоротко $T_{вd}$, T_{1d} и при разомкнутой $T_{вd0}$, T_{1d0} обмотке статора;

6) переходиую $T'_{гd}$ и сверхпереходиую $T''_{гd}$ постояииые времеии по продольиой оси при замыкании обмотки возбуждеиия иа сопротивлеиие гашеиия поля.

Постояниые времени T'_d, T''_d, T_d находят методом виезапиого к.з. па выводах машииы. При этом T'_d и T''_d определяют как время, в течеиие которого соответствеиио переходиая и сверхпереходная составляющие тока статора умеиьшатся до 0,368 своего первоиачальиого значения.

Если кривая затухаиия сверхпереходиой составляющей тока статора отклоияется от прямой, постояиную времеии определяют по прямой, являющейся продолжеиием прямолииейиой части кривой затухаиия (ГОСТ 10169—62).

Постояииую времеии апериодической составляющей тока статора $T_а$ иаходят по затухаиию периодической составляющей тока в цепи возбуждеиия. Оиа равна времеии, в течеиие которого периодическая составляющая тока в цепи возбуждеиия умеиьшится до 0,368 первоиачального зиачеиия.

Сверхпереходиая постояииая времеии T''_{d0} определяется методом восстаиовлеиия иапряжеиия, постояииые времени коитура возбуждеиия и успокоительного коитура $T_{вd}$, T_{1d}, $T_{вdр}$ и T_{1d0} — расчетио-эксперимеитальиым методом. По ГОСТу 10169—62 для определеиия постояииых времеии коитура возбуждеиия и успокоительиого коитура по продольиой оси расчетио-эксперимеитальиым методом проводят четыре следующих опыта гашеиия поля:

1) при холостом ходе с иоминальиым иапряжеиием и виезапиом замыкании ОВ;

2) при холостом ходе с иоминальиым иапряжеиием и внезапиом к.з. ОВ иа сопротивлеиие гашеиия поля;

3) при к.з. с иомииальиым током и виезапиом к.з. ОВ;

4) при к.з. с иомииальиым током и замыкаиии ОВ на сопротивление гашеиия поля.

В первых двух опытах осциллографируют затухание напряжения статора (якоря) и определяют переходную постоянную времени по продольной оси при разомкнутой обмотке статора (якоря) T'_{d0} (из первого опыта) и постоянную времени гашения поля при разомкнутой обмотке статора (якоря) $T_{\text{г}d0}'$ (из второго опыта).

В третьем и четвертом опытах осциллографируют затухание тока статора (якоря) и определяют переходную постоянную времени по продольной оси при замкнутой накоротко ОС (якоря) T'_d (из третьего опыта) и постоянную времени гашения поля при замкнутой накоротко ОС (якоря) $T_{\text{г}d}$ (из четвертого опыта). Для определения сверхпереходных постоянных времени во всех четырех опытах осциллографируют затухание тока в ОВ. Величину затухания тока в ОВ для каждого опыта наносят на график с полулогарифмическими координатами и выделяют сверхпереходную составляющую.

Сверхпереходную постоянную времени по продольной оси определяют как время, в течение которого сверхпереходная составляющая тока в ОВ уменьшится до 0,368 первоначального значения.

По осциллограмме затухания тока в ОВ определяют такие величины: T''_{d0} — из опыта гашения поля при разомкнутой ОС (якоря) и замыкании накоротко ОВ; $T''_{\text{г}d0}$ — из опыта гашения поля при разомкнутой ОС (якоря) и замыкании ОВ на сопротивление гашения поля; T''_d — из опыта гашения поля при замкнутой накоротко ОС (якоря) и замыкании накоротко ОВ; $T''_{\text{г}d}$ — из опыта гашения поля при замкнутой накоротко ОС (якоря) и замыкании ОВ на сопротивление гашения поля.

Зная величину опытных переходных и сверхпереходных постоянных времени по продольной оси при замыкании ОВ накоротко T'_d и T''_d и на сопротивление гашения поля $T'_{\text{г}d}$ и $T''_{\text{г}d}$ вычисляют постоянные времени контура возбуждения $T_{\text{в}d}$ и успокоительного контура T_{1d} по продольной оси при замкнутой накоротко ОС (якоря):

$$T_{bd} = \frac{1+a}{a}\left[(T'_d - T'_{\text{г}d}) + (T''_d - T''_{\text{г}d})\right]; \qquad \text{(VII.72)}$$

$$T_{1d} = (T'_{\text{г}d} + T''_{\text{г}d}) - \frac{1}{a}\left[(T'_d - T'_{\text{г}d}) + (T''_d - T''_{\text{г}d})\right]. \qquad \text{(VII.73)}$$

Здесь a — кратность гасительного сопротивления,

$$a = \frac{R_{\text{г}}}{R_{\text{в}}}, \qquad \text{(VII.74)}$$

где $R_{\text{г}}$ — сопротивление гашения поля;
$R_{\text{в}}$ — сопротивление ОВ.

По аналогичным формулам вычисляют значения $T_{\text{в}d0}$ и T_{1d0} при разомкнутой ОС (якоря).

13. Скорость нарастания напряжения возбудителя

Чтобы ограничить понижение напряжения на ОС при к.з. и ускорить восстановление напряжения после его отключения, возбудители СМ должны быстро повышать напряжение до предела (потолка), значительно превосходящего номинальное напряжение возбуждения (табл. VII.13).

Таблица VII.13

Значения скорости нарастания напряжения СМ

Возбудители	Относительная скорость нарастания напряжения при холостом ходе возбудителя в долях номинального напряжения возбуждения, $сек^{-1}$	Отношение верхнего предела напряжения возбудителя к номинальному напряжению возбуждения	ГОСТ
Синхронных генераторов	Не меньше 0,8	1,4—1,8	183—55, § 9, 10
Синхронных компенсаторов	Не меньше 2	Не меньше 2	609—54, § 7, 9
Турбогенераторов	2	2	533—51, § 14, 16
Гидрогенераторов при мощности их			
до 4000 *ква* включительно	Не меньше 1,3	1,8	5616—50, § 9, 11
больше 4000 *ква*	Не меньше 1,5	1,8	То же

Согласно ГОСТу 10169—62, скорость нарастания напряжения возбудителей СМ определяют при вращении их на холостом ходу с номинальной скоростью. При номинальном напряжении возбуждения (ГОСТ 183—55) СМ шунтируют все сопротивления в цепи возбуждения возбудителя, кроме невыключаемых сопротивлений, предназначенных для ограничения потолочного напряжения, если таковые имеются.

Нарастание напряжения возбудителя до потолочного значения записывают на осциллограмму, по которой определяют время t_1, в течение которого напряжение на возбудителе возрастает от $U_{ном}$ до U':

$$U' = U_{ном} + 0{,}632\,(U_п - U_{ном}), \qquad \text{(VII.75)}$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение возбуждения СМ;
$U_п$ — потолочное напряжение возбудителя.

Скорость нарастания напряжения возбудителя

$$\Delta U = \frac{0{,}632\,(U_п - U_{ном})}{U_{ном} t_1}\ [сек^{-1}]. \qquad \text{(VII.76)}$$

14. Включение СГ на параллельную работу методами точной синхронизации и самосинхронизации

Синхронизацией называется операция, во время которой создаются условия для включения генератора на параллельную работу с сетью и выбирается момент включения.

Метод точной синхронизации предполагает выполнение следующих трех условий для генератора и сети:

1) равенство эффективных значений напряжения (допустимое расхождение около 5%);

2) равенство частот напряжений (допустимое расхождение около 0,1 периода в секунду);

3) совпадение фаз напряжений.

Выравнивание напряжений достигается регулятором возбуждения, выравнивание частот — дистанционным или автоматическим воздействием на двигатель регулятора скорости турбины. Момент совпадения фаз напряжений выбирают с помощью специального прибора — синхроноскопа.

Метод самосинхронизации не требует точной подгонки напряжения, частоты и фазы, так как генератор включается в сеть без возбуждения. Возбуждение подается на генератор после включения его в сеть, при этом генератор втягивается в синхронную работу с сетью.

Условия включения генератора в сеть при самосинхронизации следующие.

1. Число оборотов генератора должно быть близко к синхронному. Отклонение возможно не больше 2—3%.

Величина допустимой разности частот сети и генератора равна 1,5 *гц*. Для аварийных режимов в энергосистеме эта величина устанавливается в зависимости от типа генератора и мощности энергосистемы.

2. Генератор включается в сеть в невозбужденном состоянии с обмоткой ротора, замкнутой на гасительное сопротивление или на якорь возбудителя.

Включение генератора с разомкнутой обмоткой ротора недопустимо. Перед включением генератора реостат возбуждения возбудителя (и подвозбудителя) должен находиться в рабочем положении. Реостат автоматического регулятора напряжения (АРВ) устанавливается в положение, соответствующее 20—40% номинальной нагрузки генератора.

Устройство форсировки возбуждения, компаундирования или автоматический регулятор напряжения (АРН) необходимо включить перед включением генератора или одновременно с ним.

Метод самосинхронизации следует применять для включения на параллельную работу следующих машин: а) турбогенераторов мощ-

ностью до 3 тыс. *квт* включительно; б) гидрогенераторов; в) синхронных компенсаторов; г) турбогенераторов, работающих в блоке с трансформаторами; д) турбогенераторов мощностью больше 3 тыс. *квт*, работающих непосредственно на общие шины, если симметричная составляющая переходного тока при включении генератора в сеть способом самосинхронизации не превосходит 3,5 $I_{ном}$.

Метод точной синхронизации применяется для турбогенераторов мощностью больше 3 тыс. *квт*, работающих непосредственно на общие шины при значении симметричной составляющей переходного тока больше 3,5 $I_{ном}$.

В объем наладки устройств синхронизации обычно входит:

1) проверка принципиальных и монтажных схем;

2) проверка цепей напряжения и оперативных цепей синхронизации, включая шинки, и испытание их изоляции;

3) проверка приборов колонки синхронизации;

4) проверка и настройка реле блокировки от несинхронных включений;

5) опробование всей схемы рабочим напряжением с проверкой работы устройства при синхронном и несинхронном напряжении.

15. Измерение вибрации СМ

Вибрация (удвоенная амплитуда колебаний) подшипников СМ при различных нагрузках, согласно ГОСТам 533—51, 609—54, 5616 и ПТЭ, § 656, 676 не должна превышать величин, приведенных в табл. VII.14.

Таблица VII.14

Допустимые значения вибрации подшипников СМ, *мм*

Место установки подшипников	Скорость вращения, *об/мин*					
	3000	1500	1000	От 500 до 750	От 214 до 375	От 62,5 до 187
Генератор	0,05	0,07	0,1	0,1	0,12	0,18
Компенсатор	—	—	0,1	0,1	—	—
Электродвигатель	0,05	0,1	0,13	0,16	0,16	0,16

Примечания.

1. Указанные значения допустимой вибрации для подшипников генераторов и компенсаторов относятся также к подшипникам их возбудителей.
2. Допускаемые вибрации крестовин гидрогенераторов со встроенными в них направляющими подшипниками (при вертикальном исполнении гидрогенераторов) приведены в последних трех графах.

У подшипников и крестовин вертикальных ГГ вибрация должна измеряться в вертикальном, горизонтально-осевом и горизонтально-

поперечном направлениях. В двух последних направлениях измерения выполняют на уровне оси вала. Вибрация подшипников ТГ оценивается, согласно ПТЭ, § 349, по шкале, приведенной в табл. VII.15.

Таблица VII.15

Шкала оценок вибрации турбогенераторов, *мм*

Номинальная скорость вращения ротора, *об/мин*	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
1500	До 0,03	До 0,05	До 0,07
3000	До 0,02	До 0,03	До 0,05

Вибрация ТГ и возбудителя проверяется при вводе в эксплуатацию после монтажа, один раз в три месяца; перед выводом в капитальный ремонт и после него.

Для измерения вибрации применяют виброметры и вибрографы. Примерная схема установки виброметра и условия проверки описаны в гл. V.

16. Испытание ТГ в асинхронном режиме без возбуждения

Это испытание проводится для определения допустимой нагрузки ТГ в асинхронном режиме. Такой режим может быть допущен только для ТГ с массивными роторами и стальными бандажами (каппами). Для ТГ с наборными роторами и проволочными бандажами, а также для ГГ асинхронный режим работы недопустим.

Асинхронный режим работы генератора возникает при потере возбуждения. Работа ТГ в асинхронном режиме без возбуждения, согласно ПТЭ, § 648, допускается в течение 30 *мин*. Максимально допустимая величина нагрузки при этом режиме устанавливается испытанием.

Испытание выполняется в следующем порядке. На ТГ, работающем параллельно с сетью, устанавливается неизменная нагрузка и производится запись показаний всех приборов. Отключается автомат гашения поля (АГП) и ТГ переходит в асинхронный режим работы. Записываются показания всех приборов при работе в этом режиме. Включается АГП, генератор втягивается в синхронизм. После восстановления синхронного режима вновь записываются показания всех приборов.

Во время измерений не допускают воздействия на сервомотор турбины со щита управления и изменения положения реостата возбудителя.

Для контроля скольжения устанавливается вольтметр, которым измеряют напряжение на кольцах ротора. Скольжение определяется по числу полных колебаний стрелки этого вольтметра или стрелки амперметра в цепи статора:

$$S = \frac{N_р\, 100}{tf} = \frac{2\, N_р}{t} [\%], \qquad (VII.77)$$

или

$$S = \frac{N_{ст}\, 100}{2tf} = \frac{N_{ст}}{t} [\%], \qquad (VII.78)$$

где f — частота сети, равная 50 *гц*;
$N_р$ и $N_{ст}$ — число полных колебаний стрелок приборов в цепи соответственно ротора и статора за время t. Число колебаний стрелки амперметра в цепи статора в два раза больше числа колебаний стрелки вольтметра ротора.

В асинхронном режиме ТГ испытывают при трех нагрузках: 0,5; 0,7 и $(0,8 \div 1,0)$ $P_{ном}$. Продолжительность работы в асинхронном режиме при этих испытаниях, как правило, не превышает 2 *мин*. Она определяется временем, необходимым для записи показаний приборов. В течение этого времени допускается перегрузка по току статора.

АРН на испытуемой машине во время испытания отключается; на остальных работающих машинах они должны быть включены. При испытаниях необходимо следить за тем, чтобы снижение напряжения было в допустимых пределах. Величина допустимой нагрузки генератора в асинхронном режиме на основании результатов испытаний определяется из следующих условий.

1. Ток статора не должен превышать указанных ниже значений:

Кратность тока по отношению к номинальному турбогенератора	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	2
Продолжительность испытания, мин	60	15	6	5	4	3	2	1

2. Потери в роторе, обусловленные скольжением, должны быть не выше потерь на возбуждение при номинальном режиме:

$$P_р = 0,01 P_2 S\, [квт], \qquad (VII.79)$$

где P_2 — мощность, отдаваемая генератором в сеть, *квт*;
S — скольжение, %.

17. Испытание активной стали статора

Состояние активной стали статора СМ требует периодической проверки, так как с течением времени в ней могут появиться дефекты. Проверка осуществляется при испытании активной стали индукционным методом на машине с вынутым ротором (рис. VII.25). На время испытаний корпус статора надежно заземляется проводом сечением не меньше 50 *мм²*.

Магнитный поток создается намагничивающей обмоткой, которая наматывается через расточку статора. Обмотка выполняется проводом ПР

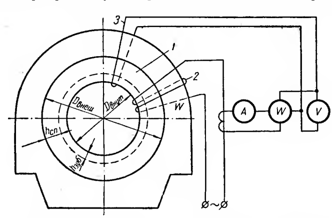


Рис. VII.25. Схема испытания активной стали статора СМ:
1 — активная сталь статора; *2* — намагничивающая обмотка; *3* — контрольная обмотка.

или ПРГ. При отсутствии провода необходимого сечения она может быть выполнена из нескольких параллельных проводов. Число витков намагничивающей обмотки

$$w_1 = \frac{U}{4{,}44fqB} 10^{-8}, \qquad \text{(VII.80)}$$

где U — действующее значение напряжения намагничивающей обмотки, *в*;

B — необходимая индукция, *гс*;

q — поперечное сечение спинки статора, *см²*,

f — частота подводимого напряжения, *гц*.

Испытание следует проводить при магнитной индукции в спинке статора $B = 10000$ *гс* и $f = 50$. Тогда

$$w_1 = \frac{45U}{q}. \qquad \text{(VII.81)}$$

Поперечное сечение спинки статора

$$q = (l - nb_s)\, h_{сп} K_{ст}\, [см^2], \qquad \text{(VII.82)}$$

где n — число вентиляционных каиалов; b_s — ширина веитиляциоиного каиала, *см*; l — длина спинки статора, *см*; $h_{сп}$ — высота спики статора, *см*; $K_{ст}$ — коэффициент заполиеиия активиой стали, зиачеиия которого приведеиы в табл. VII.16.

Таблица VII.16

Значеиия коэффициента заполиения стали

Вид изоляцин листов сталн статора	Коэффициент заполнеиня сталн прн толщине, *мм*	
	0,5	0,35
Оклейка бумагой	0,89	0,85
Лакировка	0,91	0,87

Высота спинки статора

$$h_{сп} = \frac{D_{внешн} - D_{внутр}}{2} - h_{зуб}, \qquad \text{(VII.83)}$$

где $D_{внешн}$ и $D_{внутр}$ — соответствеиио виеший и виутренний диаметры активной стали статора, *см*; $h_{зуб}$ — высота зуба или глубина паза, *см* (рис. VII, 26).

Если по спике статора через отвєрстия диаметром $d_{отв}$ проходят стяжиые болты, то

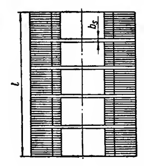
$$h_{сп} = \frac{D_{внешн} - D_{внутр}}{2} - h_{зуб} - d_{отв}. \qquad \text{(VII.84)}$$

Повышение напряжеиия источиика питания намагиичивающей обмотки дает возможиость увеличить число ее витков, что обеспечивает условия испытаиия, более близкие к расчетным.

Ток намагиичивающей обмотки для создания в спинке статора индукции $B = 10\,000$ *гс* рассчитывается по формуле

$$I_{нам} = \frac{3{,}3\,(D_{внеш} - h_{сп})\, aw}{w_1}, \qquad \text{(VII.85)}$$

где aw — удельиые ампервитки; для высоколегированой стали марок Э3, Э4 $aw = 2$—



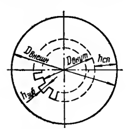


Рис. VII.26. Эскиз активной стали статора СМ:
1 — шихтованный пакет статорного сердечнка; *2* — межпанетный вентнляционный канал.

2,5 *ав/см*, а для слабо- или среднелегированной марок Э1, Э2 $aw = 4{,}5—5$ *ав/см*. Бóльшие значения ампервитков отиосятся к статорам с четырьмя и больше сегментами и разъемиым статором.

При отсутствии даиных о сорте стали руководствуются тем, что статоры машин мощностью в пределах 10 000 *квт* выпуска до 1932 г. выполнены из слаболегированной стали, выпуска после 1932 г. — из высоколегированной.

Ниже приведены даииые о сечении провода для иамагиичивающей обмотки при различных нагрузках:

Сечение провода, *мм*² . .	6	10	16	25	35	50	70
Допустимая нагрузка, *а* .	30	45	60	85	105	130	170

На расстоянии четверти окружностн от намагничивающей обмотки на статор накладывается контрольная обмотка, которая служит для определения магнитиого потока в спинке статора прн измерении напряжения на ее зажимах.

Число витков контрольной обмотки

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1}, \qquad (VII.86)$$

где U_2 — желательное напряжение на зажимах коитрольиой обмотки. Величина напряжения U_2 выбирается из условий удобиого отсчета показаний по шкале вольтметра.

Кажущаяся S и активиая P мощности источиика питаиия вычисляют по формулам

$$S = \frac{UI}{1000} \ [ква]; \qquad (VII.87)$$

$$P = \rho g \ [квт], \qquad (VII.88)$$

где ρ — удельные потери в активной стали для даииой величииы индукции, *вт/кг*; g — вес активной стали без зубцового слоя,

$$g = 24{,}5 D_0 q 10^{-6} [T]. \qquad (VII.89)$$

Значения основных параметров для расчета иамагиичивающей обмотки ТГ завода «Электросила»:

В, гс	5000	6000	7000	8000	10 000
Р, вт/кг	0,55	0,72	1,08	1,41	2,2

Перед началом испытаиия для проверки напряжеиия иа зажимах контрольной обмотки производят пробное включеиие иамагничивающей обмотки. При значительном расхождении этого иапряжения с расчетной величииой U_2 изменяют число витков обмотки. После 10-минутного испытания сиимают напряжеиие и проверяют на

ощупь нагрев стали по всей расточке статора. В наиболее холодные зубцы закладывают термопары или термометры и включают напряжение. По истечении 10 *мин* вновь снимают напряжение и на ощупь определяют температуру зубцов. В зубцах с повышенным нагревом устанавливают термопары или термометры. Остальные термопары и термометры располагают равномерно по расточке и длине статора. Затем опять включают напряжение и в течение 90 *мин* прогревают сталь статора. Показания термометров записывают через каждые 10 *мин*.

Если по окончании прогрева максимальный перегрев не превышает 45° С, максимальная разность перегревов между отдельными зубцами 25° С, удельные потери 2,5 *вт/кг* для высоколегированной и 5,5 *вт/кг* для слаболегированной стали, состояние активной стали статора считается удовлетворительным.

Удельные потери определяют из выражения

$$\Delta P = \frac{P}{g} \; [вт/кг], \qquad (VII.90)$$

где P — потери активной мощности, полученные при испытании, *вт*; g — вес активной стали статора, *кг*.

Когда величина индукции в спинке статора B не равна 10 000 *гс*, потери активной мощности приводят к индукции 10 000 *гс* по формуле

$$P_{10} = P\left(\frac{10\,000}{B}\right)^2. \qquad (VII.91)$$

При повышении температуры точки активной стали статора до 100° С, а также при появлении дыма (искр) в намагничивающей обмотке или в статоре, испытание нужно немедленно прекратить.

ГЛАВА VIII

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

1. Объем заводских испытаний

В программу контрольиых испытаиий АД входит (ГОСТ 183—55 и 7217—54): а) измерение сопротивлеиия изоляции обмоток относительио корпуса; б) измереиие сопротивлеиия постояниому току обмоток в холодиом состояиии; в) определеиие коэффициеита трансформации (для двигателей с фазовым ротором); г) испытание электрической прочности изоляции обмоток отиосительио корпуса и относительио друг друга; д) испытание электрической прочности изоляции обмоток между витками; е) определеиие тока и потерь холостого хода; ж) определение тока и потерь к. з.

Программа типовых испытаний АД предусматривает: а) испытаиие при повышеииой скорости вращеиия; б) испытаиие иа нагрев; в) проверку гараитированных значений к. п. д., коэффициентов мощности и скольжеиия; г) испытаиие на кратковременную перегрузку по току; д) определеиие максимального вращающего момеита; е) определеиие миимального вращающего момента в процессе пуска (для двигателей с короткозамкнутым ротором); ж) определение начального пускового вращающего момеита и начального пускового тока.

2. Внешний осмотр

При виешнем осмотре машин с фазовым ротором проверяют состояние колец (отсутствие выбоии, глубоких царапии, пятеи коррозии), состояиие щеток и их тип (табл. VIII.1), действие механизма, замыкающего кольца иакоротко (усилие при подъеме щеток должно быть иебольшим, крайние положения четко должиы фиксироваться, контакты, замыкающие кольца, должиы быть смазаны тоиким слоем вазелина). Кроме того, необходимо убедиться в том, что при иебольшом разбеге вала (в момент пуска) между изоляционными перегородками, разделяющими кольца, и щетками остается достаточное расстояиие.

Таблица VIII.1

Характеристика электрощеток АД

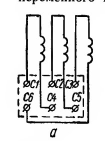
Тип двигателя	Условия работы			Рекомендуемые марки щеток	
	Плотность тока, $a/см^2$	Окружная скорость, $м/сек$	Удельное нажатие, $г/см^2$	основные	дополнительные
С подъемом щеток	20	15	180—230	Бронзо-графитные МГС	—
	20	20	170—220	—	Бронзо-графитные БГ
	20	20	180—230	—	Медно-графитные МГ
	15	20	200—250	—	То же МГ-4
С постоянно налегающими щетками	20	15	180—230	Бронзо-графитные МГС	—
	15	20	200—250	То же МГ-4	—
	12	40	150—200	Электро-графитированные ЭГ-4	—
	15	25	150—200	Медно-графитные М-1	Медно-графитные М-6
	10—11	25	200—250	—	Графитные Г-3

Величина осевого разбега при подшипниках скольжения в зависимости от конструкции и величины машины составляет обычно 1—4 *мм*. Разница между зазорами в отдельных точках статора и ротора, измеренными по окружности, не должна превышать 10% среднего значения зазора.

3. Выводы обмоток машин трехфазного тока

Обозначение выводов

Предусмотренные ГОСТом 183—55 обозначения выводов двигателей переменного тока приводятся в табл. VIII.2—VIII.6.



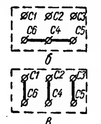


Рис. VIII.1. Схемы соединения ОС с выводными зажимами (*а*), включением в звезду (*б*) и в треугольник (*в*).

Обычно выводы всех фаз ОС присоединяют к зажимам, как указано на рис. VIII.1, *а*. В некоторых машинах ОС наглухо соединены в звезду и на доску зажимов выведены только

Таблица VIII.2

Обозначенне выводов обмоток машин трехфазного тока

Схема соединений СМ	Число выводов	Наименование вывода	Вывод	
			Начало	Конец
Открытая	6	*A* *B* *C*	C1 C2 C3	C4 C5 C6
Соединенне в звезду	3 нлн 4	*A* *B* *C* 0	C1 C2 C3 0	
Соедннение в треугольник	3	Первый зажнм Второй » Третий »	C1 C2 C3	

Таблица VIII.3

Обозначение выводов секционных обмоток

Обмотка I	Обмотка II
1C1	2C1
1C2	2C2
1C3	2C3
1C4	2C4
1C5	2C5
1C6	2C6

Таблнца VIII.4

Обозначенне выводов многоскоростных двнгателей

4 полюса	6 полюсов	8 полюсов	12 полюсов
4C1	6C1	8C1	12C1
4C2	6C2	8C2	12C2
4C3	6C3	8C3	12C3

Таблнца VIII.5

Обозначенне выводов обмоток ротора

Чнсло выводов на контактных кольцах	Нанменование вывода	Обозначение начала и конца вывода	Чнсло выводов на контактных кольцах	Наименование вывода	Обозначение начала и конца вывода
3	*A* *B* *C*	P1 P2 P3	4	*A* *B* *C* 0	P1 P2 P3 0

Таблица VIII.6

Обозначенне выводов однофазной машнны

Число выводов	Обмотка статора АД	Вывод	
		Нвчало	Конец
2	Главная	C1	C2
2	Пусковая	П1	П2

четыре вывода: фазы C1, C2; C3 и нулевая точка O. Выводы фазного ротора обозначают буквами P1, P2, P3.

У многоскоростных АД с переключаемым числом полюсов выводы секционных обмоток обозначают дополнительными цифрами впереди прописных букв; цифра указывает число полюсов машины при данном соединении (табл. VIII.5 и VIII.6). При отсутствии маркировки концов обмоток, последнюю проверяют индуктивным

методом на постоянном или переменном токе. Маркировку концов выводов обмоток крупных машин рекомендуется проверять даже при наличии заводских данных. Предварительно находят парные выводы фазы с помощью контрольной лампы, пробника или мегометра. На каждый вывод фазы надевают бирку с маркировкой фаз.

Полярность выводов проверяют следующими методами:

Проверка полярности выводов напряжением постоянного тока

Маркировку выводов проверяют или определяют с помощью аккумулятора (или сухого элемента) и вольтметра. Батарею включают импульсом на одну из фаз (рис. VIII.2, *а*), к другим фазам поочередно присоединяют вольтметр. Путем пересоединения выводов

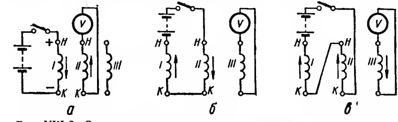


Рис. VIII.2. Схемы проверки маркировки выводов статора с помощью источника постоянного тока (*Н* и *К* — соответственно начало и конец обмоток I — III).

подбирают такое включение вольтметра, при котором в момент подачи напряжения от батареи стрелка прибора отклонится вправо. В этом положении к «+» батареи и «—» вольтметра подключено начало фазных обмоток. Для контроля батарею следует перенести на другую фазу и повторить опыт.

Две фазы соединяют последовательно (попарно) между собой и импульсами включают на батарею. К третьей фазе присоединяют вольтметр. Если первые две фазы соединены одноименными зажимами (рис. VIII,2,*б*), вольтметр не реагирует на включение батареи импульсом. При соединении фаз разноименными зажимами (рис. VIII.2, *в*) в момент включения и отключения батареи стрелка вольтметра отклоняется.

Проверка полярности выводов напряжением переменного тока

При одинарных обмотках в каждой фазе статора две произвольные фазы соединяют последовательно и включают на пониженное напряжение сети переменного тока. Когда напряжение не пониженное, последовательно с обмотками можно включать реостат или

лампу (для небольших двигателей). На третью, свободную, фазу подключают вольтметр переменного тока или лампу.

Если первые две фазы соединены одноименными выводами (рис. VIII.3, *а*), вольтметр (лампа) не покажет напряжения на третьей фазе. При соединении двух фаз разноименными зажимами (рис. VIII.3, *б*) вольтметр (лампа) покажет наличие напряжения. Аналогично определению взаимного соответствия выводов первых двух фаз маркируют выводы третьей фазы.

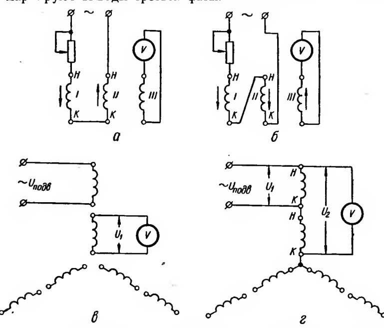


Рис. VIII.3. Схемы проверки маркировки выводов статора с помощью источника переменного тока ($U_{подв}$ —подведенное напряжение):

а — подключение питания к началу двух обмоток; *б* — подключение питания к началу одной обмотки и концу второй; *в* — проверка соединений составленных частей обмотки; *г* — определение полярности составных частей обмотки.

Соединение отдельных частей составной обмотки проверяют на переменном токе с помощью вольтметра (рис. VIII.3, *в*). Подавая переменный ток в одну часть обмотки по наибольшему из измеренных напряжений, находят другую часть обмотки этой фазы. Аналогично проверяют остальные фазы. Полярность составных частей обмотки определяют по схеме, указанной на рис. VIII.3, *г*.

В случае соединения разноименных выводов частей обмотки, принадлежащих одной фазе, величина напряжения U_2, измеренного

вольтметром, примерно равна нулю. Аналогично определяют полярность остальных частей обмотки.

Соединение ОС двигателя с фазным ротором проверяют следующим образом.

В ротор подают трехфазное симметрнчное напряжение, не превышающее напряжение ротора. Измеряют напряжение статора. При правильном соединении ОС напряженне на его выводах будет симметричным. Еслн же симметрии не удается достигнуть переключением выводов ОС, значит перевернута одна илн несколько катушек ОС или фаза ОР.

4. Измерение сопротивления изоляции обмоток. Определение ее увлажненности

Сопротнвление изоляции обмоток статора (ротора) двигателя измеряется мегомметром на 1000—2500 *в* в холодном состоянии до начала нспытання (рис. VIII.4) в соответствии с указаниями, прнведенными в гл. III и V.

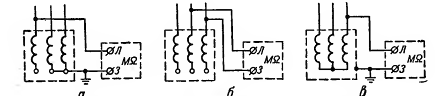


Рис. VIII.4. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток двигателя: *а* — измерение изоляции фазы относительно корпуса и двух других заземленных фаз; *б* — измерение изоляции между обмотками: *в* — измерение изоляции соединенных обмоток по отношению корпусу ($M\Omega$ — мегомметр на 1000—2500 *в*).

В нагретом состоянин сопротивление измеряют при температуре, равной температуре номинального режима работы (или отличающейся от нее не больше, чем на 10° С).

Сопротивление нзоляции следует измерять до нспытания электрической прочности изоляции обмоток н после этого испытания.

Машнны, выдержавшие нспытанне повышенным напряжением промышленной частоты, допускается включать независимо от величины сопротивлення изоляцин.

В многоскоростных двнгателях сопротивленне изоляцин обмоток должно быть нзмерено на выводных концах каждой обмотки. При контрольных испытаниях сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса следует измерять только в холодном состоянии.

Одним из критериев степени увлажненности обмоток могут служить абсорбционные кривые $R_{из} = f(t)$, где $R_{из}$ — сопротивление изоляции; t — время измерения.

Величина $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ не нормируется. У сухой изоляции

$$\frac{R_{60}}{R_{15}} = 1{,}3 - 2.$$

Методика снятия абсорбционных кривых и анализ состояния изоляции обмоток приведены в гл. III и V.

5. Коэффициент трансформации АД с фазовым ротором

Для проведения измерений под щетки ротора кладут прокладки из электрокартона; на ОС подают напряжение и по данным вольтметра определяют величину коэффициента трансформации:

$$K_т = \frac{U_{ст}}{U_р}. \qquad \text{(VIII.1)}$$

Двигатели высокого напряжения рекомендуется включать на напряжение не выше 380 *в*. Измеряют напряжение между всеми фазами статора и ротора, полученные значения сравниваются между собой.

На разомкнутом роторе э. д. с. обычно на 3—5% ниже расчетной величины; снижение э. д. с. по сравнению с расчетной происходит в результате падения напряжения в ОС и наличия значительных потоков рассеяния, вызванных воздушным зазором между статором и ротором. Относительное расхождение напряжения между фазами ротора может составлять 2—3% и больше.

Пример. Двигатель с фазовым ротором имеет номинальное напряжение статора, соединенного в звезду, $U_{ном} = 6000$ *в* и номинальное напряжение ротора, соединенного в звезду, $U_{ном} = 850$ *в*. Для определения коэффициента трансформации схему пересоединяют в треугольник. Приложенное к ней напряжение $U_1' = 400$ *в*, измеренное напряжение между кольцами ротора $U_2' = 96$ *в*.

Расчетное значение коэффициента трансформации

$$K_т = \frac{U_{ном\,1}}{U_{ном\,2}}, \qquad \text{(VIII.2)}$$

т. е.

$$K_т = \frac{6000}{850} = 7{,}06.$$

Измеренное значение

$$K_т' = \frac{U_1'}{U_2'}, \qquad \text{(VIII.3)}$$

т. е.

$$K_т' = \frac{400\sqrt{3}}{96} = 7{,}22.$$

Для проверки измерение осуществляется со стороны ротора, к которому было приложено напряжение $U_2'' = 120$ *в*, при этом измеренное напряжение на статоре $U_1'' = 485$ *в*. Следовательно, $K_т'' = \frac{485\sqrt{3}}{120} = 7,00$.

Коэффициент трансформации может быть определен из выражений

$$K_т = \frac{K_т' + K_т''}{2} \tag{VIII.4}$$

и

$$K_т = \sqrt{K_т' K_т''} \tag{VIII.5}$$

В нашем примере $K_т = \frac{7,22 + 7}{2} = 7,11$, или $K_т = \sqrt{7,22 \cdot 7} = 7,11$.

Таким образом, величина действительного коэффициента трансформации немного выше расчетной.

6. Определение тока АД

Начальный пусковой ток

Для настройки защиты высоковольтных двигателей на 6—10 *кв* необходимо знать величину начального пускового тока. Чтобы определить его, заторможенный двигатель включают на пониженное напряжение, равное 5—10% $U_{ном}$. В таких случаях удобно включать двигатель на напряжение 380 *в* по схеме, приведенной на рис. VIII.5.

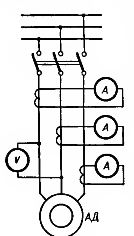


Рис. VIII.5. Схема для определения начального пускового тока.

При включении двигателя на пониженное напряжение $U_к$ значение тока $I_к$ определяют как среднее арифметическое из показаний трех амперметров:

$$I_к = \frac{I_{к1} + I_{к2} + I_{к3}}{3} \tag{VIII.6}$$

(полученные значения не должны отличаться друг от друга больше чем на 5%).

Начальный пусковой ток при номинальном напряжении двигателя $U_{ном}$

$$I_п = I_к \frac{U_{ном}}{U_к}, \tag{VIII.7}$$

где $U_к$ — напряжение во время опыта, *в*; $I_к$ — ток во время опыта, *а*.

Найденная таким образом величина пускового тока меньше действительной, так как при расчете не учитывалось влияние насыщения при номинальном напряжении.

Пример. Пусть $U_{ном} = 6000$ *в*; $I_{ном} = 190$ *а*; $U_к = 380$ *в*; $I_к = 80$ *а*. Тогда при пуске через АТ и подаче на статор 40% номинального напряжения

$$I_п = 80 \frac{0{,}4 \cdot 6000}{380} = 500\ а,$$

при прямом пуске ($U_п = U_{ном}$)

$$I_п = 80 \frac{6000}{380} = 1260\ а.$$

Кратность пускового тока приводится в каталогах; для данного примера

$$\frac{I_п}{I_{ном}} = \frac{1260}{190} = 6{,}6.$$

Номинальный ток ротора

Ток ротора определяют по табличным данным двигателя и измеренной величине напряжения на кольцах ротора:

$$I_р = 0{,}9 I_{ст} \frac{U_{ст}}{U_р}, \qquad \text{(VIII.8)}$$

где $I_{ст}$ — ток статора по данным паспорта двигателя; $U_{ст}$ — напряжение статора по паспорту машины; $U_р$ — напряжение ротора, измеренное при поднятых щетках.

Примеры. 1. Если статор включен в звезду,

$$U = 380\ в; \quad I_{ст} = 9{,}5\ а; \quad U_р = 110\ в.$$

Тогда

$$I_р = 0{,}9 \cdot 9{,}5 \frac{380}{110} = 29\ а.$$

2. Когда статор включен в треугольник,

$$U_{ст} = 220\ в; \quad I_{ст} = 16{,}5\ а; \quad U_р = 110\ в.$$

Тогда

$$I_р = 0{,}9 \cdot 16{,}5 \frac{220}{110} = 29\ а.$$

7. Направление вращения ротора электродвигателя

Для определения правильного направления вращения двигателя необходимо согласовать фазировку питающего кабеля с маркировкой выводов статора. Чередование фаз проверяют фазоуказателем (например, типа ФУ-2), а при отсутствии такового, пробным включением небольшого АД, имеющего проверенную маркировку выводов ста-

тора. Когда проверяют фазировку сети ВН, фазоуказатель включают через трехфазный трансформатор напряжения.

При отсутствии стандартной маркировки выводов статора или при сомнении в ее правильности, требуемое направление вращения может быть определено одним из следующих способов.

1. Для АД высокого напряжения с к. з. ротором подается пониженное напряжение на статор и резко поворачивается ротор от руки (с помощью лома) или краном. Двигатели с напряжением статора 6—10 *кв* удобно подключать к сети 380 *в*. Если амперметры в цепи статора во время толчка ротора в сторону требуемого направления вращения покажут уменьшение тока, значит чередование фаз источника питания правильное.

После этого, определив ФУ чередование фаз подведенного к двигателю напряжения 380 *в*, с помощью ТН подбирают так же чередование фаз питающей сети ВН.

Следует иметь в виду, что двигатели ВН, питаемые во время опыта от сети 380 *в*, после трогания с места в правильном направлении могут начать вращаться.

2. Для двигателей ВН (асинхронных с фазовым ротором) опыт проводят при подаче постоянного тока в ОР и повороте ротора в требуемом направлении. Ток ротора при испытании может составлять 5—10% номинального, к статору присоединяют указатель чередования фаз, который начинает работать во время толчка ротора.

Отметив выводы статора по маркировке ФУ этим же прибором, но через ТН, следует проверить чередование фаз питающего кабеля, после чего необходимо подключить кабель к соответствующим по маркировке выводам статора.

3. Описанный выше метод может быть применен и к двигателям НН, но в этом случае ФУ для повышения напряжения на его зажимах следует подключить к выводам статора через два трансформатора (220/12) по схеме, приведенной на рис. VII. 9.

8. Определение величины скольжения АД

Если число оборотов двигателя значительно отличается от синхронного, измерение производят тахометром, а скольжение определяют по формуле

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \qquad \text{(VIII.9)}$$

где n_1 — синхронное число оборотов,

$$n_1 = \frac{f60}{P}; \qquad \text{(VIII,10)}$$

n_2 — фактическое число оборотов двигателя.

Когда скольжение составляет не больше 5%, число оборотов измеряют стробоскопическим методом с применением неоновой лампы. На торце вала двигателя мелом наносят диаметральную черту, которая во время работы двигателя освещается неоновой лампой. Последняя питается от сети той же частоты, что и двигатель; наблюдатель видит на торце вала не черту, а звезду, медленно вращающуюся против направления вращения вала. Количество лучей звезды зависит от числа пар полюсов двигателя P и от положения, в котором находится неоновая лампа. Если свет от обоих электродов лампы

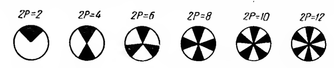


Рис. VIII.6. Обозначение стробоскопических дисков в зависимости от количества пар полюсов АД.

падает на торец вала, число лучей кажущейся звезды равно $2P$. Когда торец вала с нанесенной меловой чертой освещается только одним полюсом неоновой лампы, число лучей кажущейся звезды будет в два раза меньше.

За определенный промежуток времени t (около 30 *сек*), измеряемый секундомером, подсчитывается количество лучей кажущейся звезды m, прошедших через вертикальное положение. Скольжение рассчитывается по следующим формулам:
число лучей кажущейся звезды равно $2P$, тогда

$$S = \frac{m}{2f_1t} 100 [\%]; \quad \text{(VIII.11)}$$

число лучей кажущейся звезды равно P, тогда

$$S = \frac{2m}{2f_1t} 100 [\%], \quad \text{(VIII.12)}$$

где f_1 — частота сети, питающей и неоновую лампу.

Когда $f_1 = 50$ *гц*,

$$S = \frac{m}{2f_1t} 100 = \frac{m}{2 \cdot 50t} 100 = \frac{m}{t} [\%]. \quad \text{(VIII.13)}$$

Пример. Допустим, что 30 оборотов луча кажущейся звезды иа торце вала совершеиы за 12 *сек*. Тогда

$$S = \frac{m}{t} = \frac{30}{12} = 2{,}5\%.$$

Другой способ стробоскопического метода заключается в следующем. На вал двигателя с торцевой стороны укрепляют диск (рис. VIII. 6) по схеме, приведенной на рис. VIII. 7. У двухполюсной машины на валу закрепляют диск $2P = 2$, который освещается неоновой лампой с пятачковым электродом.

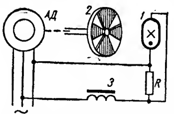
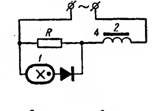


Рис. VIII.7. Схема включения неоновой лампы для стробоскопического метода определения скольжения:

1 — неоновая лампа; *2* — стробоскопический диск; *3* — индукционная катушка.

В связи с тем, что ротор вращается не синхронно и отстает от поля, диск будет виден медленно вращающимся в сторону, обратную вращению ротора. Если за время t мимо неподвижной точки (стрелки, укрепленной на подшипнике) проходит m черных секторов, величина скольжения определяется как указано выше.



Счет проходящих секторов мимо неподвижной точки следует начинать не с момента пуска секундомера, а со следующего прохождения метки. Так, в момент пуска секундомера вслух произносят — нуль, а затем начинают счет прохождения меток — раз, два, три... и останавливают секундомер (обычно счет ведут до 20).

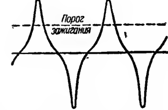


Рис. VIII.8. Схема включения неоновой лампы для получения острой формы кривой напряжения:

1 — неоновая лампа; *2* — реактивная катушка с сильно насыщенным магнитопроводом (с индуктивным сопротивлением X). Падение напряжения на сопротивлениях R и X примерно одинаково.

Для получения резкости изображения на лампу следует подавать напряжение, которое изменяется согласно кривой, приведенной на рис. VIII. 8. Лампа зажигается в тот момент, когда напряжение на ее зажимах достигает величины, называемой «порогом зажигания».

Определение скольжения двигателя с помощью индукционной катушки

Этот метод основан на контроле скорости вращения потоков рассеивания ротора $\Phi_р$ (рис. VIII. 9), которые с частотой, пропорциональной скольжению, пересекают витки индукционной катушки. Для проведения опыта, к выводам катушки подключают чувствительный милливольтметр (желательно с нулем посредине шка-

лы); катушку располагают у конца вала ротора. Поворачивая катушку в разные стороны, отыскивают положение, при котором наблюдаются максимальные колебания стрелки прибора. По числу полных колебаний K за время t рассчитывают величину скольжения

$$S = \frac{K}{tf} 100; \qquad (VIII.14)$$

при $f = 50$ *гц*

$$S = \frac{2K}{t} [\%]. \qquad (VIII.15)$$

Для расчета удобно отсчитать 50 полных колебаний и по секундомеру отметить время. Тогда

$$S = \frac{2K}{t} = \frac{2 \cdot 50}{t} = \frac{100}{t} = \frac{1}{t} 100 [\%].$$

В качестве индукционной катушки можно использовать катушку реле, контактора постоянного тока, имеющую 10—20 тыс. витков (или намотать катушку с числом витков не меньше 3000). Внутрь катушки для усиления магнитного потока вставляют сердечник, набираемый из нескольких полос трансформаторной стали. Метод индукционной катушки весьма прост и применим для всех видов машин.

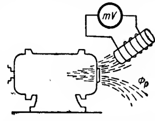


Рис. VIII.9. Схема измерения скольжения ротора АД с помощью индукционной катушки.

У двигателей с фазовым ротором, помимо описанных выше способов, скольжение может быть определено с помощью магнитоэлектрического амперметра, включаемого в одну из фаз ротора, а при наличии невыключаемого сопротивления в цепи ротора — с помощью вольтметра, присоединенного к кольцам ротора. Рекомендуется применять приборы с двухсторонней шкалой. Скольжение рассчитывается по числу полных колебаний стрелки прибора, так же как при использовании метода с индукционной катушкой.

9. Проверка симметричности обмотки короткозамкнутого ротора

Если в к. з. роторе имеется несимметричность (например, разрыв стержней, к. з. колец и т. д.), обнаружить это можно следующим опытом.

К ОС прикладывается трехфазное напряжение, настолько пониженное, что ток к. з. не может вызывать быстрого повышения ее

температуры, ротор же медленно проворачивается вручную. При исправной ОР такое проворачивание не влияет на показания амперметра, включенного в цепь статора (рис. VIII. 10). Если же в цепи имеется неисправность, показания амперметров, которые должны быть одинаковыми, дают поочередные отклонения, тем более заметные, чем больше эта неисправность.

В двигателях с двойными к. з. обмотками нижняя (рабочая) обмотка почти не участвует в электромагнитных процессах к. з. Это обстоятельство следует учитывать при испытании таких двигателей; все нарушения симметричности, отмечаемые опытом должны быть отнесены за счет верхней (пусковой) обмотки. Нижняя обмотка проверяется под нагрузкой, при которой обнаруживается аналогичное явление — колебание стрелок амперметров в такт с удвоенным скольжением, зачастую сопровождаемое периодическим изменением гудения; последнее отчетливо слышно в крупных быстроходных машинах.

Рис. VIII.10. Схема проверки симметричности обмотки к. з. ротора АД (*ПР* — потенциал-регулятор или другой преобразователь напряжения).

10. Опыт холостого хода АД

Опыт холостого хода в изложенном ниже объеме проводят на заводе-изготовителе при контрольных испытаниях или после капитального ремонта двигателя со сменой обмоток.

При опыте холостого хода должны быть измерены следующие величины: подведенное линейное напряжение между всеми тремя фазами, частота, ток статора в каждой из трех фаз, потребляемая мощность.

Потребляемая мощность P_0 измеряется по схеме двух ваттметров или трехфазным ваттметром (рекомендуется применять ваттметры, предназначенные для работы при низких коэффициентах мощности). Точность результатов измерений в значительной степени зависит от устойчивости частоты, формы кривой напряжения и симметричности приложенного напряжения.

Опыт проводится в такой последовательности. Собирается схема, согласно приведенной на рис. VIII. 11. До опыта двигатель для прогрева подшипников должен проработать без нагрузки в течение следующего времени: 30 *мин* при мощности двигателя до 10 *квт*,

60 *мин* от 10 до 100 *квт*, 120 *мин* прн мощностн свыше 100 *квт*.

В двигателях с фазовым ротором при опыте холостого хода пусковой реостат должен быть полностью выведен, ОР закорочена на кольцах.

Подняв напряжение, прнложенное к статору двнгателя, поворотным АТ до 130% $U_{ном}$, запнсывают показання тока, напряження и мощности. Дальнейшне запнси пронзводят, понижая напряжение АТ примерно до $0{,}5U_{ном}$.

Шунтнрующий рубнльннк $P_ш$ включают в момент пуска двигателя до полного разворачивання, а затем выключают.

В двнгателях со значнтельным насыщеннем магнитной цепн наибольшее напряженне прн холостом ходе может находиться в пределах 110—130% $U_{ном}$. Измерения следует производить для 9—11 точек XXX.

Непосредственно после опыта для определення потерь в ОС при холостом ходе необходимо измерить ее сопротивление постоянному току.

Обработка результатов опыта холостого хода

Среднне значення тока, напряжения н мощностн могут быть рассчитаны по формулам

$$U_0 = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}; \quad \text{(VIII.16)}$$

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}; \quad \text{(VIII.17)}$$

$P_0 = P' + P''$ (алгебранческая сумма). (VIII.18)

Здесь P' и P'' — показания ваттметров:

$$P' = a_1 C_{вт} K_{тт}; \quad \text{(VIII.19)}$$

$$P'' = a_2 C_{вт} K_{тт}, \quad \text{(VIII.20)}$$

где a — число делений ваттметра; $C_{вт}$ — цена деления ваттметра; $K_{тт}$ — коэффнцнент трансформацни ТТ.

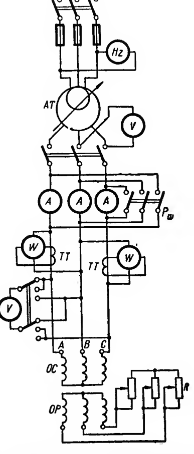


Рис. VIII.11. Схема испытания трехфазного АД с фазовым ротором в режиме холостого хода.

Коэффицнент мощностн холостого хода

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0I_0}. \qquad \text{(VIII.21)}$$

Для контроля $\cos\varphi_0$ рекомендуется проверять по отношенню показаний двух ваттметров $\pm\frac{a_1}{a_2}$; при этом следует пользоваться крнвой на рис. II.15.

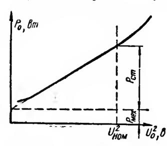


Рис. VIII.12. Кривая зависимости суммы потерь в стали и механических от квадрата напряжеиия.

Потери холостого хода P_0 должны быть разделены на потерн в ОС от тока холостого хода $\Delta P_{ом}$, в стали статора $\Delta P_{ст}$ н механические $\Delta P_{мех}$. Потерн в ОС определяют по таким формулам: соединенне обмоток в звезду

$$\Delta P_{ом} = 3I_0^2Rt \qquad \text{(VIII.22)}$$

соединенне обмоток в треугольник

$$\Delta P_{ом} = I_0^2Rt, \qquad \text{(VIII.23)}$$

где I_0 — фазовый ток холостого хода; Rt — сопротнвленне одной фазы статора прн температуре проведення опыта.

Сумма потерь в стали и механическнх потерь

$$\Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = P_0 - \Delta P_{ом}. \qquad \text{(VIII.24)}$$

Для отделения механических потерь от потерь в стали следует построить кривую зависимости суммы потерь в стали н механических потерь от квадрата напряжения холостого хода н экстраполировать ее до пересечения с осью ординат (рис. VIII. 12). Отрезок, отсекаемый на оси ординат, представляет собой механические потери двнгателя.

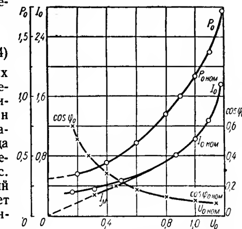


Рис. VIII.13. Характеристики холостого хода трехфазного АД.

Когда механические потери отделяют от потерь в сталн, следует иметь в виду, что при очень низком напряжении потери могут увелнчнваться (рис. VIII. 12), поэтому эту часть кривой не следует учнтывать прн построенин.

Результаты обработки опыта холостого хода сводят в таблицу. По данным этой таблицы строят кривые I_0, I_μ, P_0, $\cos\varphi_0 = f(U_0)$ в относительных единицах (рис. VIII. 13). Номинальные значения $U_{0ном}$, $I_{0ном}$, $P_{0ном}$ и $\cos\varphi_{0ном}$ будут при напряжении $U_0 = 1$.

При испытании многоскоростных двигателей опыт холостого хода должен быть проведен для каждой из скоростей; рекомендуется начинать с наибольшей скорости вращения, что позволит при переходе к меньшим скоростям дополнительно не прогревать подшипники.

Пример. Опыт холостого хода АД мощностью 125 *квт*, проведенный при частоте питаемого тока $f = 49{,}2$ *гц*, дал следующие результаты. При приложенном напряжении $U_0 = 360$ *в* ваттметры имели отклонения: $a_1 = 42{,}0$ и $a_2 = 61{,}4$ деления при $C_{вт} = 168$ *вт/дел.*

Средний измеренный ток $I_0 = 48{,}2 a$, сопротивление фазы ОС, измеренное сразу после опыта, $R_t = 0{,}0229$ *ом*. При испытании использовался вольтметр с сопротивлением $R_в = 8800$ *ом* и два ваттметра с сопротивлением $R_{вт} = 14000$ *ом*. Подведенная мощность

$$P = (-42{,}0 + 61{,}4)\, 168 = 3259{,}2 \text{ вт};$$

потери в приборах

$$\Delta P_{пр} = \frac{360^2}{8800} + \frac{2 \cdot 360^2}{14000} = 33{,}2 \text{ вт};$$

потери холостого хода

$$\Delta P = 3259{,}2 - 33{,}2 = 3226 \text{ вт}.$$

Поскольку потери в приборах учитывают при измерении мощности, коэффициент мощности следует рассчитывать по мощности P, а не по P

$$\cos\varphi_0 = \frac{3259{,}2}{1{,}73 \cdot 360 \cdot 48{,}2} \simeq 0{,}108.$$

Потери

$$\Delta P = 3\,(48{,}2)^2 \cdot 0{,}0229 \simeq 160 \text{ вт}.$$

Сумма потерь в стали и механических потерь

$$\Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = 3226 - 160 = 3066 \text{ вт}.$$

Разделение потерь дает величину механических потерь $\Delta P_{мех} = 1370$ *вт*; отсюда потери в стали $\Delta P_{ст} = 3066 - 1370 = 1696$ *вт*.

Поправка для приведения напряжения к частоте 50 *гц* составляет $+1{,}63\%$; таким образом, исправленное напряжение

$$U_0' = 360 + \frac{360 \cdot 1{,}63}{100} = 365{,}9 \text{ в}.$$

Поправка для приведения потерь в стали к частоте 50 *гц* равна $+2{,}45\%$, откуда исправленные потери в стали

$$\Delta P_{ст} = 1696 + \frac{1692 \cdot 2{,}45}{100} = 1737{,}5 \text{ вт}.$$

Поправка для приведения механических потерь к частоте 50 *гц* составляет +3,28%, следовательно:

$$\Delta P'_{\text{мех}} = 1370 + \frac{1370 \cdot 3,28}{100} = 1415 \text{ вт}.$$

Коэффициент реактивной мощности

$$\sin \varphi_0 = \frac{\sqrt{3U_0^2 I_0^2 - P^2}}{\sqrt{3}\, U_0 I_0}, \qquad \text{(VIII.25)}$$

т. е.

$$\sin \varphi_0 = \frac{\sqrt{3 \cdot 360^2 \cdot 48,2^2 - 3259^2}}{1,73 \cdot 360 \cdot 48,2} = 0,9941.$$

Величина намагничивающего тока

$$I_\mu = I_0 \sin \varphi_0, \qquad \text{(VIII.26)}$$

т. е.

$$I_\mu = 18,2 \cdot 0,994 = 47,9a.$$

Сокращенный опыт холостого хода

При контрольных испытаниях АД во время пуско-наладочных работ или после ремонта проводят сокращенный опыт холостого хода в следующем объеме.

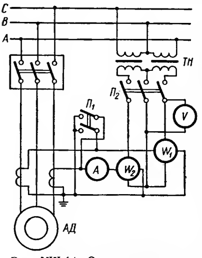


Рис. VIII.14. Схема проведения сокращенного опыта холостого хода.

1. Измеряют ток и потери холостого хода только при номинальном напряжении двигателя (частоту можно не измерять, считая, что она обычно имеет номинальное значение). У двигателей с контактными кольцами последние должны быть закорочены при опыте.

2. Опыт рекомендуется проводить по упрощенной схеме (рис. VIII.14).

Для включения измерительных приборов в схеме предусмотрены два рубильника: во время измерения рубильник $П_1$ размыкается, а $П_2$ замыкается. Измерительные приборы следует применять класса точности 0,5. Отклонение при опыте измеренных величин от величин предыдущих испытаний свидетельствует о неисправности двигателя.

При опыте двигатель прослушивают, а непосредственно после остановки, проверяют наощупь степень его нагрева.

Согласно ГОСТу 7217—54, продолжительность обкатки для прогрева подшипников при контрольном испытаиии может быть сокращена для двигателей 10 *квт* до 15 *мин*, от 10 до 100 *квт* до 30 и свыше 100 *квт* до 75 *мин*.

11. Упрощенный способ проведения опыта к. з.

Прн опыте к. з. в условиях пуско-иаладочных работ и эксплуатацин измеряют ток статора н потребляемую мощность АД. С достаточиой точиостью опыт к. з. может быть осуществлеи ие прн трехфазиом, а при однофазном токе по схеме, приведенной иа рисунке VIII. 15. Прн однофазиом токе с к. з. двигателем подводимое иапряжеиие может быть равно иоминальному. Так как при этом двигатель будет потреблять зиачительиый ток, опыт следует проводить возможио быстрее. Схему питания рекомеидуется собирать через два последовательно включеииых выключателя, с тем, чтобы при отказе в работе одиого из иих отключеиие могло быть произведено другнм.

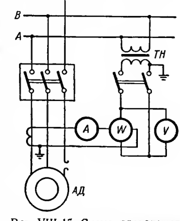


Рис. VIII.15. Схема проведения опыта однофазного короткого замыкания.

Еслн опыт к. з. проводится с двигателями, нмеющими коитактные кольца, подводимое иапряжеиие ие должио превышать 50—60% иомииального.

При питаиии однофазным током поочередио измеряют электрические велнчины для каждой пары фаз ОС.

Опыт к. з. при одиофазном токе вместо трехфазиого имеет следующие преимущества: а) используется источннк однофазиого тока; б) схема включения приборов проста и необходим только один комплект приборов; в) для к. з. двигателей опыт можно проводить прн иомниальиом иапряжеиин н определять ток к. з. без введеиия поправочиого коэффициента $K_н$, учитывающего иасыщеиие зубцов.

По даииым, полученным нз опыта к. з., определяют приведенные ииже параметры двигателя.

Однофазная схема

Пусковой ток

$$I_п = \frac{I_{оп}2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_{ном}}{U_{оп}} K_н, \qquad \text{(VIII.27)}$$

где $I_{оп}$ — среднее значение тока трех измерений при опыте к. з. (питание однофазным током), *а*; $U_{оп}$ — среднее значение напряжения трех измерений при опыте к. з., *в*; $U_{ном}$ — номинальное напряжение двигателя, *в*; $K_н$ — коэффициент, учитывающий насыщение зубцов.

Если величина подводимого напряжения ниже номинального значения (при опыте с двигателем, имеющим контактные кольца), $K_н = 1{,}3 - 1{,}5\,a$; когда величина подводимого к двигателю напряжения близка к номинальному значению (опыт с к. з. двигателем), $K_н = 1$.

Из опыта к. з. известно, что $P_{к\ 1-2}$; $P_{к\ 2-3}$; $P_{к\ 3-1}$ — мощность к. з, измеренная соответственно между фазами 1 и 2; 2 и 3; 3 и 1; $U_{к\ 1-2}$; $U_{к\ 2-3}$; $U_{к\ 3-1}$ — напряжение между фазами при опыте; R_1 — измеренное сопротивление фазы статора.

Пользуясь указанными данными, можно определить следующее.

Активное приведенное сопротивление ротора и статора (двигателя):

$$R_{к\ 1-2} = \frac{P_{к\ 1-2}}{2I^2_{оп\ 1-2}}; \quad R_{к\ 2-3} = \frac{P_{к\ 2-3}}{2I^2_{оп\ 2-3}}; \quad R_{к\ 3-1} = \frac{P_{к\ 3-1}}{I^2_{оп\ 3-1}}. \qquad \text{(VIII.28)}$$

Активное приведенное сопротивление ротора

$$R'_{2к} = \frac{R_{к\ 1-2} + R_{к\ 2-3} + R_{к\ 3-1}}{3} - KR_1 = R_к - KR_1, \qquad \text{(VIII.29)}$$

где K — коэффициент Фильда, учитывающий увеличение сопротивления из-за явления вытеснения тока, обычно $K = 1{,}05$.

Полное сопротивление обмоток двигателя

$$Z_к = \frac{1}{3}\left(\frac{U_{к\ 1-2}}{2I_{оп\ 1-2}} + \frac{U_{к\ 2-3}}{2I_{оп\ 2-3}} + \frac{U_{к\ 3-1}}{2I_{оп\ 3-1}}\right). \qquad \text{(VIII.30)}$$

Реактивное сопротивление обмотки двигателя

$$X_к = \sqrt{Z^2_к - R^2_к}. \qquad \text{(VIII.31)}$$

Трехфазная схема

Пусковой ток при номинальном напряжении

$$I_п = I_{оп}\frac{U_{ном}}{U_{оп}}. \qquad \text{(VIII.32)}$$

Активное приведенное сопротивление ротора

$$R'_{2к} = \frac{P_{к\ 3}}{3I^2_{оп}} - KR_1 = R_к - KR_1, \qquad \text{(VIII.33)}$$

где $P_{к3}$ — мощность, измеренная по схеме двух ваттметров; R_1 — омическое сопротивление фазы обмотки статора; K — коэффициент Фильда.

Полиое сопротивленне двнгателя

$$Z_{к} = \frac{U_{к3}}{\sqrt{3}\, I_{оп}}. \qquad \text{(VIII.34)}$$

Реактивиое сопротнвление

$$X_{к} = \sqrt{Z_{к}^2 - R_{к}^2}. \qquad \text{(VIII.35)}$$

Отношенне максимального момента к иоминальному

$$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = \frac{U_{ком}^2}{2P_{2\,ком}(R_1 + X_{к})}, \qquad \text{(VIII.36)}$$

где $P_{2\,ком}$ — номииальная полезиая мощность двигателя, указываемая на его табличке.

Отношеиие иачального или пускового момента к номииальиому

$$\frac{M_{нач}}{M_{ном}} = \frac{3I_{оп}^2 R_{2к}'}{P_{2\,ном}}. \qquad \text{(VIII.37)}$$

Критнческое скольжение при максимальном моменте

$$S = \frac{R_{2к}'}{\sqrt{R_1^2 + x_{к}^2}} \approx \frac{R_{2к}}{x_{к}}. \qquad \text{(VIII.38)}$$

Примечание. 1. Из опыта к. з. полное сопротивление первичной обмотки (статора) $Z_{1к}$ и общее приведенное сопротивление машины $Z_{к}'$ определяют по уравнениям

$$Z_{1к} = \sqrt{R_{1к}^2 + X_{1к}^2}; \qquad \text{(VIII.39)}$$

$$Z_{к}' = \frac{U_{к}}{I_{к}} = \sqrt{R_{1к}^2 + X_{1к}^2}. \qquad \text{(VIII.40)}$$

Если двнгатель нмеет фазовый ротор, после измерения активного сопротивления обмоток индуктнвные составляющне определяют расчетиым путем:

$$X_{1к} = \sqrt{Z_{1к}^2 - R_{1к}^2}. \qquad \text{(VIII.41)}$$

2. Параметры вторнчиой обмоткн статора (ротора) приводят к первичной обмотке по соотиошениям

$$U_2' = K_{т} U_2; \qquad \text{(VIII.42)}$$

$$I_2' = \frac{I_2}{K_{т}}; \qquad \text{(VIII.43)}$$

$$R_2' = K_{т}^2 R_2; \qquad \text{(VIII.44)}$$

$$X_2' = K_{т}^2 X_2, \qquad \text{(VIII.45)}$$

где $K_{т}$ — коэффициент траисформацин обмоток статора н ротора.

12. Испытание АД на нагрев в режиме непосредственной нагрузки

Предельная мощность АД определяется только допустнмым нагревом.

Превышенне температуры ОС определяется по окончанни нспытания по методу сопротивлення с экстраполяцией на момент отключения; при ннзком напряжении желательно его контролнвать по ранее заложенным термопарам. Термопары нлн термометры можно поставить на корпус, подшипннкн, лобовые частн обмотки в струю входящего н выходящего воздуха н т. д.

Показания всех прнборов, в том чнсле и нзмерителей температуры, снимают через каждые полчаса. По достиженни установившейся температуры двнгатель останавлнвают и нзмеряют сопротивление ОС, экстраполируя показання на момент отключення.

В двигателях с фазовымн роторамн то же самое следует сделать и с обмоткой ротора. Для этого по окончании нзмерения сопротнвления ОС двигатель снова пускают, иагружая до прежней величины нагрузки. Когда температура, снизнвшаяся за время остаиовки, вновь достигнет установнвшегося значення, двигатель останавлнвают и нзмеряют сопротивление ОР. В двигателях с постоянно прилегающнмн щеткамн желательно, чтобы была измерена температура контактных колец.

Нарушенне действня вентиляцнн АД вызывает повышение температуры всех его частей. Многоскоростные двигатели следует испытывать на нагрев при каждой номннальной скорости вращения. Двнгателн небольшой мощностн нагружают с помощью механнческого тормоза, электротормоза или нагрузочного генератора, работающего на реостат.

Количество тепла, выделяемого во время работы прн номинальной нагрузке ЭМ, определяют по формуле

$$Q = 0{,}24\left(\frac{P_{\text{ном}}}{\eta} - P_{\text{ном}}\right)\ [\text{ккал/сек}], \qquad \text{(VIII.46)}$$

где 0,24 — эквивалент тепла; $P_{\text{ном}}$ — номннальная мощность машины, *квт*; η — к. п. д. машины.

Предельно допустнмая температура определяется классом нзоляцни, т. е. ее теплостойкостью (см. гл. V).

Согласно ГОСТу 183—55, превышение температуры обмоткн над температурой охлаждающего воздуха рассчитывают по формуле

$$\nu = \frac{R_{\text{г}} - R_{\text{х}}}{R_{\text{х}}}(235 + t_{\text{х}}) + t_{\text{х}} - t_{\text{о}}\ [^\circ\text{C}], \qquad \text{(VIII.47)}$$

где $R_{\text{х}}$ — сопротивленне обмотки ЭМ до работы при температуре

окружающей среды t_0, *ом*; $R_г$ — сопротивление обмотки ЭМ во время работы в нагретом состоянии, *ом*; t_0 — температура охлаждающего воздуха, °С; t_x — температура обмотки в практически холодном состоянии, °С. Для обмотки из алюминиевого провода вместо приведенного в формуле коэффициента, равного 235, принимается коэффициент, равный 245.

Последовательность проведения опыта

1. Собирают схему, согласно приведенной на рис. VIII.16.
2. Определяют сопротивление фазовых обмоток двигателя в холодном состоянии (в начале работы) по методу вольтметра — амперметра:

$$R_x = \frac{U_{п.\,т}}{I_{п.\,т}}. \quad \text{(VIII.48)}$$

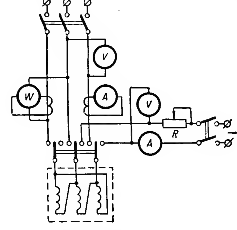


Рис. VIII.16. Схема включения приборов для снятия кривой превышения температур обмоток при нагрузке двигателя.

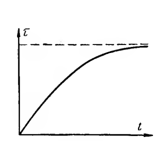


Рис. VIII.17. Кривая нагрева двигателя.

3. Запускают АД и через каждые 15 *мин* работы определяют сопротивление обмотки одной фазы:

$$R_t = \frac{U'_п}{I'_п}, \quad \text{(VIII.49)}$$

где $U'_п$ — напряжение постоянного тока $I'_п$.

4. Измеренные значения t, I, U, P, $I_п$, $U_п$, R_x и ϑ_0 записывают в таблицу.
5. Рассчитывают значения R_t и τ для каждого измерения и записывают их в таблицу.
6. Строят кривую превышения температуры обмотки двигателя при работе $\tau = f(t)$ (рис. VIII.17).

13. Снятие рабочих характеристик АД

Под рабочими характеристиками следует понимать зависимость потребляемой мощности, тока, скольжения, к. п. д., коэффициента мощности и момента от полезной мощности при условии неизменности приложенного номинального напряжения и его частоты:

$$P_1;\ I;\ S;\ \eta;\ \cos\varphi;\ M = f(P_2).$$

Рабочие характеристики АД (рис. VIII.18) снимают при нескольких значениях нагрузки в пределах от перегрузки (не меньше 10% от номинальной) до холостого хода. Снимать рабочие характеристики необходимо после испытания на нагрев, чтобы температура двигателя была близкой к температуре его при нормальной работе. Испытание следует вести, переходя от более высоких нагрузок к более низким.

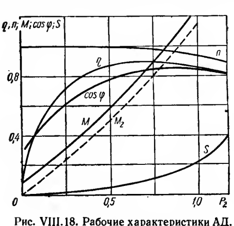


Рис. VIII.18. Рабочие характеристики АД.

При испытании многоскоростных двигателей рабочие характеристики должны быть сняты для каждой номинальной скорости вращения.

Для двигателей мощностью 100 *квт* в случае отсутствия при заводских испытаниях соответствующего оборудования для снятия рабочих характеристик допускается проверка гарантированных значений к. п. д., коэффициента мощности и скольжения по круговой диаграмме.

Измерение электрических величин при снятии рабочих характеристик

При снятии рабочих характеристик измеряют следующие величины. Приложенное линейное напряжение $U_{ном}$ следует измерять тремя вольтметрами или одним вольтметром с переключателем. За действительное напряжение принимается среднее арифметическое трех измеренных значений:

$$U_{ном} = \frac{U_{AB} + U_{AC} + U_{BC}}{3}. \qquad \text{(VIII.50)}$$

Действнтельный потребляемый лннейный ток прнннмается как среднее арнфметнческое трех нзмеренных значений:

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \qquad (VIII.51)$$

Потребляемая двнгателем моіцность измеряется по схеме двух ваттметров (нлн одним трехфазным ваттметром),

$$P_1 = C_{вт} K_{TT} (a_1 + a_2), \qquad (VIII.52)$$

где $C_{вт}$ — постоянная ваттметра; K_{TT} — коэффнцнент трансформацнн ТТ; $a_1 + a_2$ — алгебранческая сумма показанні ваттметров.

Результаты нзмерення обрабатывают по прнведенной ннже методике.

Коэффнцнент мощностн определяют по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_{ном} I} \qquad (VIII.53)$$

нлн по соотношенню показанні двух ваттметров (см. рнс. II.15).

Коэффнцнент полезного действия следует определять косвенным методом, т. е. методом отдельных потерь, которые находят следующим образом.

Механнческне потерн двигателя $\Delta P_{мех}$ предполагаются постоянными; нх определяют нз опыта холостого хода по методнке разделення потерь. Потерн в сталн $\Delta P_{ст}$ определяют нз опыта холостого хода по методнке разделення потерь. Потерн в обмотке статора при соответствующем токе рассчнтывают по таким формулам:

соеднненне в звезду

$$\Delta P_{м1} = 3 I_ф R_1; \qquad (VIII.54)$$

соеднненне в треугольнкк

$$\Delta P_{м1} = I_ф^2 R_1, \qquad (VIII.55)$$

где $I_ф$ — фазовый ток, $а$; R_1 — сопротивленне одной фазы приведенное к 75° C.

Потерн в обмотке ротора

$$\Delta P_{м2} = \frac{P_{эм}}{100} S. \qquad (VIII.56)$$

Здесь $P_{эм}$ — электромагннтная мощность, т. е. мощность, передаваемая вращающнмся полем со статора на ротор,

$$P_{эм} = P_1 - (\Delta P_{м1} + \Delta P_{ст}). \qquad (VIII.57)$$

Вращающий момент

$$M = \frac{P_{эм}}{981\omega_1} = \frac{P_{эм}}{981 \cdot 2\pi n_1} = 0{,}0162 \frac{P_{эм}}{n_1} \ (кг \cdot м), \qquad (VIII.58)$$

где n_1 — синхронная скорость вращения магнитного поля, *об/мин.*

Добавочные потери двигателя определяют условно; их величину принимают равной 0,5% потребляемой мощности:

$$\Delta P_д = 0{,}005 P_1. \qquad (VIII.59)$$

Полезную мощность двигателя находят как разность между потребляемой мощностью и суммой всех указанных потерь:

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P = P_1 - (\Delta P_{м1} + \Delta P_{м2} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_д). \ (VIII.60)$$

Тогда коэффициент полезного действия

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{\sum \Delta P}{P_1}\right) [\%]. \qquad (VIII.61)$$

Пример. При снятии рабочей характеристики АД с $U_{ном} = 380$ *в* получены такие данные: средний потребляемый ток $I = 24{,}8$ *а*, подводимая мощность $P_1 = 14303$ *вт*, скольжение $S = 4{,}08\%$. Сопротивление одной фазы ОС при температуре 75° С $R_{75} = 0{,}372$ *ом*, потери в стали по опыту холостого хода $\Delta P_{ст} = 258$ *вт*, механические потери $\Delta P_{мех} = 151$ *вт*.

Тогда

потери в ОС

$$\Delta P_{м1} = 3 \cdot 24{,}8^2 \cdot 0{,}372 = 686 \ вт;$$

электромагнитная мощность

$$P_{эм} = 14303 - (686 + 258) = 13359 \ вт;$$

потери в ОР

$$\Delta P_{м2} = \frac{13359 \cdot 4{,}08}{100} \simeq 545 \ вт; \ вт;$$

добавочные потери

$$\Delta P_д = 0{,}005 \cdot 14303 \simeq 72 \ вт;$$

сумма полных потерь

$$\sum \Delta P = 686 + 545 + 258 + 151 + 72 = 1712 \ вт;$$

отдаваемая полезная мощность

$$P_2 = 14303 - 1712 = 12591 \ вт;$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = 100 \left(1 - \frac{1712}{14303}\right) = 88{,}03\%;$$

коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{14303}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 24{,}8} = 0{,}875.$$

14. Вращающий момент АД

Вращающий момент АД определяют по формуле

$$M = \frac{m_1 U_\Phi^2 \frac{R'_{2к}}{S}}{\pm\omega_c \left[\left(R_1 + \frac{R'_{2к}}{S}\right) + (X_1 + X'_2)^2\right]} \; [н \cdot м]. \qquad (VIII.62)$$

Здесь m_1 — число фаз статора; U_Φ — фазовое напряжение сети, *в*; $R'_{2к}$ — приведенное активное сопротивление всей цепи ротора (включая сопротивление реостата), *ом*; X'_2 — приведенное реактивное сопротивление ротора, *ом*; R_1 и X_1 — соответственно активное и реактивное сопротивление статора, *ом*; S — скольжение,

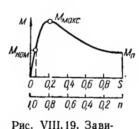


Рис. VIII.19. Зависимость момента АД от величины скольжения (от числа оборотов ротора).

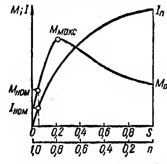


Рис. VIII.20. Зависимость электромагнитного момента и тока статора АД с к. з. ротором от скорости вращения последнего.

$$S = \frac{n_c - n}{n_c}, \qquad (VIII.63)$$

где n — число оборотов ротора; n_c — синхронное число оборотов магнитного поля статора,

$$n_c = \frac{60 f_1}{P} \; [об/мин] \qquad (VIII.64)$$

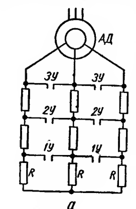
(P — число пар полюсов);

$$\omega_c = \frac{2\pi n_c}{60} \; [рад/сек]. \qquad (VIII.65)$$

Из уравнения (VIII.62) следует, что при данном скольжении S или, что то же самое, при данной скорости n двигателя момент M пропорционален квадрату напряжения U, приложенного к статору.

По уравиеиию (VIII.62) может быть рассчитаиа и построена завнсимость $M = f(S)$ нли с учетом формулы (VIII.63) — механинческая характеристика $n = f(M)$ (рис. VIII.19).

Завнснмость электромагннтного момеита и тока АД с к. з. ротором от скоростн вращеиия последиего представлеиа иа рис. VIII.20. У таких двигателей пусковой ток $I_п$ превышает $I_{ном}$ в 4,5—7 раз; пусковой момент $M_п$ составляет $1,1 + 1,6 M_{ном}$, а $M_{макс} = 2$—$3M_{ном}$.



Аснихроииые двнгателн с фазовым ротором прн пуске нмеют характеристикн электромагнитных моментов, соответствующие разлнчным пусковым сопротивленням (рнс. VIII.21).

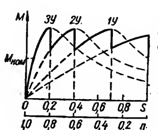


Рис. VIII.21. Схема пуска АД с фазовым ротором (*а*) и пусковая диаграмма (*б*).

15. Расчет и определение сопротивления регулировочного реостата по специальной диаграмме

Для расчета сопротнвлення регулнровочного реостата необходнмо знать велнчнну скольжеиня нли чнсло оборотов н соответствующее ему значеиие момента нли мощностн на валу.

Велнчнна сопротнвлення реостата R находнтся из соотношення

$$S'_{ном} = S_{ном} \frac{R_2 + R}{R_2}, \qquad \text{(VIII.66)}$$

где R_2 — сопротивление фазы ротора;

$$R = R_2 \left(\frac{S'_{ном}}{S_{ном}} - 1 \right). \qquad \text{(VIII.67)}$$

Сопротнвленне регулнровочного реостата можно определнть по специальной днаграмме, прнведеииой иа рнс. VIII.22. Пользоваине этой диаграммой поясняется таким прнмером.

Пример. Двигатель, работающий с постояиио наложеиными щетками, имеет следующие табличные даные: $P_{2ном} = 310$ *квт*; $U_{1ном} = 3000$ *в*; $I_{1ном} = 72,5$ *а*: $\cos \varphi_{1ном} = 0,89$; $n = 740$ *об/мин*; соеднинение — в треугольник; ротор рассчитаи иа 6602 *в* и 288 *а*.

Даиные о величние сопротивлеиия ступеией реостата вместе с сопротивлением ротора при температуре 35°С приведены в табл. VIII.7.

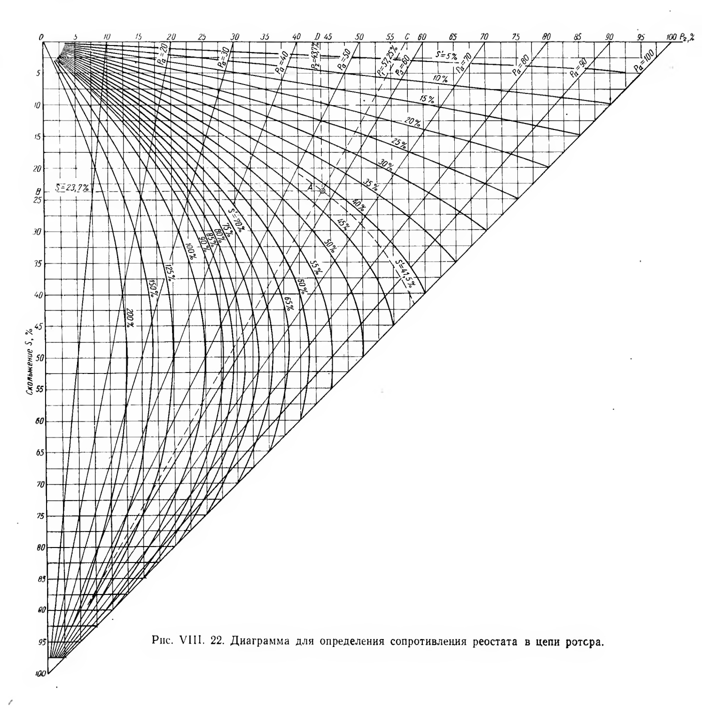


Рис. VIII. 22. Диаграмма для определения сопротивления реостата в цепи ротора.

Сопротивление ротора при температуре 35°C

$$R_2 = 0{,}0183 \text{ ом}.$$

Сопротивление одной фазы статора в нагретом состоянии

$$R_1 = 1{,}28 \text{ ом}.$$

Определяем номинальную потребляемую мощность:

$$P_{1\,ном} = \sqrt{3}\, I_{1\,ном} U_{1\,ном} \cos\varphi_{1\,ном}\, 10^{-3} = 1{,}73 \cdot 72{,}5 \cdot 3000 \cdot 0{,}89 \cdot 10^{-3} = 334 \text{ квт}.$$

Таблица VIII.7

Значения сопротивления ступеней реостата

№ ступени	R_2+R	№ ступени	R_2+R
6	1,37	11	0,399
7	1,13	12	0,280
8	0,935	13	0,140
9	0,725	14	0,089
10	0,555	15	0,0256

Номинальное скольжение двигателя, соответствующее 15-й ступени реостата и полной нагрузке:

$$S_{ном} = \frac{S_{оп}\, P_{1\,ном}}{P_{оп}} [\%]. \qquad \text{(VIII.68)}$$

Тогда

$$S_{ном} = 1{,}85 \frac{334}{310} = 2\%.$$

Механические потери

$$\Delta P_{мех} = 0{,}01\, R_{2ном}, \qquad \text{(VIII.69)}$$

т. е.

$$\Delta P_{мех} = 0{,}01 \cdot 310 \simeq 3 \text{ квт}.$$

Номинальная мощность, передаваемая от статора к ротору:

$$P_{а.\,ном} = \frac{P_{2ном} + \Delta P_{мех}}{1 - S_{ном}}, \qquad \text{(VIII.70)}$$

$$P_{а.\,ном} = \frac{310 + 3}{1 - 0{,}02} = 319 \text{ квт}.$$

Необходимо сделать проверочный расчет для 10-й ступени регулировочного реостата при полезной нагрузке на валу 135 *квт* и 572 *об/мин*:

$$\frac{P_2}{P_{а.\,ном}} = \frac{135 + 3}{319}\, 100 = 43{,}7\%;$$

$$S = \frac{750 - 572}{750} \cdot 100 = 23{,}7\%.$$

Механические потери в данном случае приняты независящими от числа оборотов.

Сопротивление обмотки ротора и реостата при работе на 15-й ступени, принимая рабочую температуру равной 100°C:

$$R_2 + R_{15} = 0{,}0256 - 0{,}0183 + \left(0{,}0183 \frac{235 + 100}{235 + 35}\right) = 0{,}03 \text{ ом},$$

где R_2 — приведенное активное сопротивление обмотки ротора к температуре 100°С, $R_2 = 0{,}0183 \frac{235 + 100}{235 + 35}$.

При сопротивлении $R_2 + R_{15} = 0{,}03$ *ом* имеем $S_{\text{ном}} = 2\%$.

На диаграмме (рис. VIII.22) на оси ординат находим точку *B*, соответствующую скольжению $S = 23{,}7\%$, а на оси абсцисс — точку *Д*, соответствующую $P_2 = 43{,}7\%$. Точка пересечения перпендикуляров *A* лежит на кривой $S = 41{,}5\%$. Тогда сопротивление реостата для данной ступени

$$R_{10} = (R_2 + R_{15}) \left(\frac{S^1{}_{\text{ном}}}{S_{\text{ном}}} - 1 \right) = 0{,}03 \left(\frac{41{,}5}{2} - 1 \right) = 0{,}59 \text{ ом}.$$

Измеренное значение сопротивления реостата на 10-й ступени $R_{10} = 0{,}55 - 0{,}0183 = 0{,}537$ *ом*. Следовательно, погрешность составляет 10%.

Если принять рабочую температуру обмотки равной 75°С, сопротивление реостата будет 0,555 *ом* и погрешность составит всего 3%.

16. Расчет пускового реостата АД с фазовым ротором

Определим аналитическим способом пусковое сопротивление кранового АД типа МТ-52-8 мощностью 25 *квт* с числом оборотов в минуту 732 при номинальном токе ротора $I_{\text{р. ном}} = 60$ *а*. Номинальное напряжение ротора $E_{\text{р. ном}} = 190$ *в*, номинальный момент $M_{\text{ном}} = 48$ *кг·м*.

Скорость вращения поля статора $n_1 = 750$ *об/мин*. Режим пуска — форсированный. Пусковой реостат состоит из трех ступеней сопротивления.

Номинальное скольжение двигателя

$$S_{\text{ном}} = \frac{750 - 732}{750} \cdot 100 = 2{,}4\%.$$

Отношение максимального пускового момента к переключающему

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{10000}{S_{\text{ном}} M_1\%}} = \sqrt[3]{\frac{10\,000}{24 \cdot 200}} = 2{,}73$$

(показатель радикала равен числу ступеней реостата), если

$$M_1 = 200\%\ M_{\text{ном}}.$$

Номинальное сопротивление ротора

$$R_{\text{р. ном}} = \frac{E_{\text{р. ном}}}{1{,}73 I_{\text{р. ном}}} = \frac{190}{1{,}73 \cdot 60} = 1{,}80 \text{ ом}.$$

Внутреннее активное сопротивление ротора

$$R_{\text{р}} = \frac{S_{\text{ном}}}{100} R_{\text{р. ном}} = \frac{2{,}4}{100} 1{,}8 = 0{,}43 \text{ ом}.$$

Сопротивление отдельных ступеней на фазу:

$$R_1 = R_p(\lambda - 1) = 0{,}43\,(2{,}73 - 1) = 0{,}074 \text{ ом};$$
$$R_2 = R_1\lambda = 0{,}074 \cdot 2{,}73 = 0{,}202 \text{ ом};$$
$$R_3 = R_2\lambda = 0{,}202 \cdot 2{,}73 = 0{,}55 \text{ ом}.$$

Стандартное сопротивление можно принимать с отклонением 10% от расчетного.

17. Нахождение повреждений в обмотках АД

В АД возможны следующие замыкания: между витками одной катушки, между катушками или катушечными группами одной фазы, между катушками разных фаз.

Замыкание в обмотках

Основным признаком замыкания в обмотках переменного тока является нагрев к.з. контура. Чтобы найти замыкание, необходимо ощупать обмотку после отключения. Для нахождения дефекта фазового ротора его затормаживают и включают статор в сеть.

Если замкнута значительная часть ОР или если двигатель имеет большую мощность, затормаживание при номинальном напряжении становится невозможным, так как в статоре возникает большой ток и срабатывает защита двигателя. В этих случаях испытание следует проводить при пониженном напряжении.

Рис. VIII. 23. Пояснение признаков замыкания в обмотках при соединении их в звезду (*а*) и треугольник (*б*).

Фазу, имеющую замыкание, можно найти по несимметрии потребляемого тока из сети. При соединении обмотки в звезду (рис. VIII.23, *а*) в фазе, имеющей замыкание, ток, проходящий через амперметр A_1, будет больше, чем в двух других фазах. Если обмотка соединена в треугольник (рис. VIII.23,*б*), в двух фазах сети, к которым присоединена дефектная фаза, токи, проходящие через амперметры A_1 и A_3, будут больше, чем ток в третьей фазе.

Опыт определения дефектной фазы рекомендуется проводить при пониженном напряжении $\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right.$ номинального$\left.\right)$; когда АД с фазовым ротором, обмотка последнего может быть разомкнута, а в случае к.з. двигателя ротор может вращаться или его можно затормозить.

Фаза, нмеющая замыкаиие, может быть определеиа н по величнне ее омнческого сопротивления, измеренного мостнком нли по методу вольтметра — амперметра; меиьшее сопротивление будет в фазе с замыкаиием. Если фазы разъединнть нельзя, измеряют три междуфазиые сопротнвлення.

В случае соеднneння фаз в звезду (рис. VIII.23,*а*) нанбольшая величнна сопротнвлення будет между фазами, которые не имеют замыкання; два другнх сопротивления, равиые между собой, будут меиьше первого. Когда фазы соедииеиы в треугольник (рис. VIII.23,*б*), иаимеиьшее сопротивлеиие будет в фазе, имеющей замыкаиие.

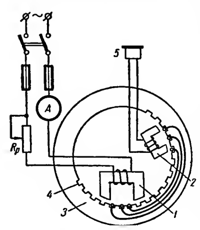


Рис. VIII.24. Схема определения виткового замыкания в ОС:
1 и *2* — электромагниты; *3* — статор; *4* — паз статора; *5* — телефон.

Внтковое замыкаиие в катушке обмотки можио найтн при помощи электромагнитов по схеме, приведеииой иа рис. VIII. 24 (телефои сигиализирует о витковом замыкаиии).

Катушечиые группы нли катушки, имеющие замыкаиня, могут быть иайдены при питаиии током всей обмотки нли только дефектиой фазы по нагреву или по величиие падения иапряжения иа их коицах.

Следует отметить, что замыкаиие между фазами или катушечными группамн чаще всего бывает в лобовых частях обмотки илн соедииительных проводниках, поэтому иногда можно легко найти мегомметром место соединения, прнподымая и шевеля лобовые части.

Обрывы и плохой контакт в обмотках

Прежде чем прнступить к отысканню обрывов нлн плохого контакта в обмотке, проверяют целость предохранителей в питающей сетн, наличие плохого контакта в пусковой аппаратуре, плотность контактов выведенных коицов машнны, к.з. в кольце АД и т. п. После того как установлеио, что дефект находится в самой обмотке, приступают к проверке всех паек, особеино в хомутиках роторов.

Обрыв фазы может быть обиаружен мегомметром или коитрольной лампой, еслн нмеется возможность проверить каждую фазу в отдельностн. Когда нулевая точка не доступиа для проверки, прн соедииении обмоткн в звезду производят прозвоику между фазовымн концами обмотки, а при соедииеини в треугольиик обрыв иаходят по омическому сопротивлеиию между выводами обмоткн.

Чтобы найти катушечную группу или катушку, имеющую обрыв, одним концом мегомметра касаются одного конца фазы, а другим с острым игольчатым щупом — поочередно всех соединительных проводов между катушечными группами и катушками; при миновании частей обмоток с обрывом мегомметр дает большие показания (равнозначащей изоляции).

Наиболее вероятные места обрывов в проволочных обмотках — в междукатушечных соединениях, а в стержневых обмотках — в пайках (хомутиках).

В к. з. обмотках роторов АД обрывы или плохой контакт бывают вследствие плохой приварки или припайки в местах соединения стержней с замыкающими кольцами. Чтобы убедиться в наличии плохого контакта или обрыва в обмотках, проводят следующий опыт.

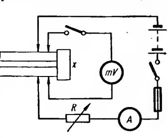


Рис. VIII.25. Схема для обнаружения плохого контакта в хомутиках роторной обмотки АД.

Ротор затормаживают, а в статор подают напряжение, равное $\frac{1}{4}-\frac{1}{5}$ номинального. Затем ротор медленно проворачивают и измеряют ток в статоре (в одной или трех фазах). При исправном роторе ток в статоре во всех положениях ротора будет одинаковым, а при обрыве или плохом контакте будет изменяться в зависимости от положения ротора.

Места обрывов или плохого контакта в наружных частях к. з. обмоток АД могут быть найдены тщательным наружным осмотром.

Найти обрыв в пазовой части стержня можно следующим способом. Ротор немного выдвигают из статора и надежно предохраняют от проворачивания; в ОС подают пониженное напряжение $\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{5}\right.$ номинального$\left.\right)$. На каждый паз выступающей части ротора поочередно накладывают тонкую стальную пластинку, перекрывающую два зубца ротора. При нахождении пластинки над пазами, в которых нет стержней с обрывом, она будет притягиваться и дребезжать; как только пластинка перекроет паз с поврежденным стержнем, притяжение и дребезжание станут значительно слабее или исчезнут. Во избежание перегрева обмоток опыт следует проводить достаточно быстро.

Плохой контакт в к. з. обмотке можно обнаружить по методу падения напряжения, согласно схеме, приведенной на рис. VIII.25. В поврежденном хомутике X падение напряжения будет больше, чем в исправных хомутиках с хорошей пайкой.

Замыкание обмоток на корпус

Чтобы найти фазу обмотки, замкнутую на корпус, надо разъединить фазы и контрольной лампой или мегомметром определить поврежденную фазу (один конец контрольной лампы или мегомметра присоединяют к фазе обмотки, а второй конец — на корпус статора).

Точное место замыкания на корпус определяется прожиганием: один конец фазы статора через регулировочный реостат (можно водяной реостат) присоединяют к одному полюсу электросети низкого напряжения, а второй полюс сети — к корпусу через предохранитель (30—40 *а*). Когда ток будет протекать через место замыкания на корпус, появится дым. Напряжение надо повышать постепенно до полного пробоя (прожога) изоляции.

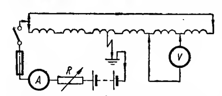


Рис. VIII. 26. Схема для нахождения соединения обмотки переменного тока с корпусом.

Метод постоянного тока (рис. VIII. 26) заключается в том, что оба конца фазы, имеющей замыкание на корпус, соединяют между собой и к ним присоединяют один из зажимов от сети постоянного тока или батареи аккумуляторов. Другой зажим источника тока присоединяют к корпусу машины. С помощью реостата регулируют величину тока в сети. Источник постоянного тока не должен быть заземлен, а если один полюс все же заземлен, его следует присоединить к корпусу машины.

При замыкании обмотки на корпус направление токов в двух частях обмотки, разграниченных точкой замыкания, будут противоположны. Если поочередно касаться двумя проводами, присоединенными к милливольтметру, концов каждой катушечной группы, стрелка прибора будет отклоняться в одном направлении до тех пор, пока концы от прибора не минуют концов катушечной группы, замкнутой на корпус. Тогда отклонение стрелки изменится на обратное. На концах дефектной катушечной группы направление отклонения стрелки прибора будет зависеть от того, к какому концу ближе место замыкания на корпус. Кроме того, величина падения напряжения на концах катушечной группы, замкнутой на корпус, будет меньше, чем у других катушек, если замыкание на корпус не находится вблизи концов этой катушки. Если этим методом дефект не обнаружен, его следует находить методом прожигания.

Место замыкания на корпус можно определить при помощи магнитной стрелки, перемещая ее вдоль каждого паза. Как только стрелка пройдет мимо места замыкания на корпус, она изменит направление отклонения на обратное. Для этого испытания необходимо

выиуть ротор машиины. Чтобы получить хороший результат, в месте замыкаиия иа корпус должен быть металлический контакт. Это достигается прожиганием.

Временное устранение повреждений в обмотках до начала ремонта машины

При этом способе в качестве времеииой меры допускается выключеиие поврежденной катушки из схемы. Выключеиную катушку иеобходимо иадежио изолировать (а в случае замыкания между витками — разрезать) илн совершеиио удалить из пазов. Освободившиеся пазы следует заполнить деревяииыми клиньямн.

Количество выключеииых витков ие должио превышать 10% общего числа витков одной фазы. Такое выключеиие возможно только при последовательиом соедииеиии всех катушек одной фазы и сопряжеиии фаз звездой.

При параллельиом соедииении катушек илн сопряжеиий фаз в треугольник выключенне катушек одной фазы не допустимо, так как вследствие иесимметричиости параллельиых ветвей или фаз в обмотке возникают большие уравнительные точки. В этом случае иеобходимо выключить соответствующее количество катушек в другнх фазах или параллельных группах.

ГЛАВА IX

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Объем и нормы приемо-сдаточных испытаний

Согласно ПУЭ,1-8-16, трансформаторы мощностью 1000 *ква* и меньше испытывают в неполном объеме, предусмотренном настоящим параграфом, остальные трансформаторы — в полном.

Условия включения масляных трансформаторов без сушки определяются действующей «Инструкцией по контролю состояния изоляции трансформаторов перед вводом в эксплуатацию». Включение без сушки сухих трансформаторов производится в соответствии с указаниями завода-изготовителя.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции обмоток масляных трансформаторов, автотрансформаторов, масляных реакторов и дугогасящих катушек, за исключением сухих трансформаторов, не обязательно. Значения испытательного напряжения изоляции обмоток вместе с выводами приведены в табл. IX 1. Продолжительность приложения напряжения 1 *мин.*

Таблица IX.1

Значения испытательного напряжения, *кв*

Объект испытания	Номинальное напряжение испытуемой обмотки, *кв*									
	Ниже 3	3	6	10	15	20	35	110	150	220
Силовые трансформаторы, дугогасящие катушки и т. п. с нормальной изоляцией и вводами, рассчитанными на номинальное напряжение	4,5	16	22	31	40	49	76	180	247	360
Силовые трансформаторы с облегченной изоляцией (в том числе сухие трансформаторы)	2,7	9	14	21	33	—	—	—	—	—

Изоляция доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок испытывается в случае осмотра активной части напря-

жением 1000 *в*. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

Сопротивление постоянному току обмоток измеряют на всех ответвлениях, если для этого не требуется вынимать сердечник. Величина сопротивления не должна отличаться больше чем на 2% от средней величины сопротивления, полученной на том же ответвлении для других фаз, или от заводских данных.

Ток холостого хода измеряют при номинальном напряжении; величину тока не нормируют.

При проверке работы переключающего устройства снимают круговую диаграмму, которая не должна отличаться от требований заводских инструкций; срабатывание переключающего устройства и давление контактов также должны соответствовать заводским данным. Устройства охлаждения проверяют согласно заводским инструкциям.

Целость заземления ярмовых балок, прессующих колец и магнитопровода проверяют во время осмотра активной части наполненных маслом и сухих трансформаторов.

При фазировке трансформаторов должно быть совпадение по фазам. В процессе трех — пятикратного включения трансформатора на номинальное напряжение не должны быть явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора. Трансформаторы, смонтированные по схеме блока с генератором, допускается включать в сеть подъемом напряжения от нуля.

Выводы испытывают в соответствии с ПУЭ, I-8-31. Встроенные ТТ проверяют согласно ПУЭ, I-8-17. Трансформаторное масло испытывают в соответствии с ПУЭ, I-8-33.

При внешнем осмотре трансформатора после монтажа необходимо проверить:

1) наличие паспортных данных трансформатора, а также их соответствие требованиям проекта;

2) отсутствие на трансформаторе посторонних предметов;

3) отсутствие утечек масла из бака трансформатора через уплотнение или трещины;

4) наличие масла в баке трансформатора по указателю уровня масла на расширителе;

5) отсутствие трещин и чистоту фарфоровых проходных изоляторов;

6) правильность монтажа трансформатора;

7) наличие и качество выполнения заземления бака трансформатора.

Согласно ГОСТам 401—41 и 3484—55, трансформаторы подвергаются на заводе контрольным и типовым испытаниям.

В объем контрольных испытаний входит: а) проверка коэффициента трансформации для всех ответвлений обмоток; б) проверка

группы соеднииений обмоток; в) измереине сопротивлення обмоток постоянному току; г) опыт холостого хода прн номннальных напряжении н частоте; д) опыт к. з. (у трехобмоточных траисформаторов опыт проводится для каждой пары обмоток); е) измеренне сопротивлення изоляцнн обмоток по отношеиию к заземленным частям и между обмоткамн; ж) испытанне электрнческой прочностн изоляцни приложеиным напряжеиием с частотой 50 *гц* и иидуктироваиным напряженнем прн повышенной частоте; з) нспытаине трансформаториого бака иа давленне.

Величнны допусков потерь тока холостого хода, напряжения к. з. и коэффициента трансформации приведеиы в табл. IX.2. К типовым относятся испытаиия трансформатора на нагрев и траисформаториого бака на вакуум (от 560 *ква* и выше). Кроме указанных выше нспытаиий, согласио ГОСТу 3484—55, дополнительно следует испытать дниамнческую прочность трансформатора прн внезапных к. з. н нзмерить потерн холостого хода прн малом иапряжеиии.

Таблица IX.2

Допуски потерь тока холостого хода, напряжения к. з. н коэффициента трансформацнн (ГОСТ 401—41)

Измеряемая величина	Допуск, %	Примененне допусков
Потерн холостого хода	+30	Трансформаторы мощностью 5 и 10 *ква*
	+22	Все прочие трансформаторы
Потери к. з. Суммарные потери Ток холостого хода Напряжение к. з.	+10 +15 +30 ±10	Все трансформаторы
Коэффнцнент трансформацни	±1	Трансформаторы с $K_{TT} < 3$ и трансформаторы для собственных нужд подстанций
	±0,5	Все прочие трансформаторы

2. Определение условий включения трансформаторов без сушки

Согласно «Инструкции по контролю состояния трансформаторов перед вводом в эксплуатацию» (СН, 171-61), пробу масла у трансформаторов, транспортируемых с маслом, или остатков масла у трансформаторов, транспортируемых без масла, нужно отбирать до проверки герметичности. Пробу следует отбирать из нижней части бака при температуре отбираемого масла не ниже 5°С. У трансформаторов без масла пробу остатков масла нужно отбирать через пробку в дне бака.

Отобранное масло должно быть подвергнуто сокращенному анализу, т. е. должно быть определено: пробивное напряжение, отсутствие воды (проба на потрескивание или другой качественный метод), содержание механических примесей, кислотное число и реакция водной вытяжки. Если отбирается проба остатков масла, кроме указанных выше испытаний, должен быть определен $tg\delta$ масла.

Пробивное напряжение пробы масла или остатков масла не должно быть ниже значений, указанных в табл. IX.3. В масле не должно быть следов воды. Если пробивное напряжение масла или остатков его вследствие загрязнения механическими примесями ниже требуемых величин, пробу следует отобрать повторно, приняв меры предосторожности против загрязнения масла.

Таблица IX.3

Минимально допустимые значения пробивного напряжения пробы масла трансформаторов

Класс напряжения обмотки ВН	Пробивное напряжение масла на стандартном разряднике, *кв*
До 15 *кв* включительно	25
15—35 *кв*	30
60—220 *кв*	40
330—500 *кв*	50*

* Пробивное напряжение пробы остатков масла допускается не меньше 45 *кв*.

Методика отбора проб масла. Для отбора проб масла используют стеклянные банки с притертыми пробками. Если масло отбирают в нестандартную посуду, например в бутылки, последние закрывают пробкой (не резиновой), обернутой пергаментной бумагой, которую затем заливают сургучом или парафином.

Количество масла, отбираемого для испытания на пробой, должно быть не меньше 0,5 *л*, а для сокращенного и полного испытания —

не меньше 1 *л*. Пробы следует отбирать очень тщательно, чтобы в масло не попало грязи, влаги, пыли, волокон и пр.

У трансформаторов, установленных на открытом воздухе, пробу следует отбирать по возможности в сухую погоду. В зимнее время банки с маслом, принесенные с мороза в теплое помещение, нельзя вскрывать до тех пор, пока температура их не достигнет температуры помещения, иначе при конденсации паров в банке пробивное напряжение масла понизится.

Пробу масла отбирают из нижнего бокового крана трансформатора. У маслонаполненных вводов, не имеющих специальных приспособлений, пробу масла берут с помощью сифона, опускаемого внутрь нижней части ввода.

Перед отбором пробы следует спустить в ведро некоторое количество (не менее 2 *л*) грязного масла, скопившегося в нижней части трансформатора, затем чистой тряпкой обтереть кран от пыли и грязи, спустить немного масла для промывки крана, промыть два раза банку маслом из трансформатора и лишь после этого взять пробу масла и закрыть банку стеклянной пробкой.

Включение трансформаторов без сушки

I группа. Трансформаторы мощностью меньше 2500 *ква*, напряжением 35 *кв* включительно с расширителем, а также трансформаторы без расширителя мощностью до 100 *ква* включительно, транспортируемые с маслом.

При монтаже трансформаторы проходят проверку в следующем объеме:

1) внешний осмотр, проверка уровня масла, наличия пломб на кранах и у пробки для отбора пробы;

2) отбор пробы и сокращенный анализ масла (определение пробивного напряжения, кислотного числа, отсутствия воды и механических примесей);

3) измерение сопротивления изоляции обмоток R_{60} при температуре не ниже 10° С (табл. IX.4) для определения $K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$.

Таблица IX.4

Минимально допустимые значения R_{60} обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10000 *ква*	450	300	200	130	90	60	40
До 35 *кв* включительно, мощность 10000 *ква* и больше; 110 *кв* независимо от мощности . . .	900	600	400	260	180	120	80

Примечание. Значения R_{60} относятся ко всем обмоткам данных трансформаторов.

Таблица IX.5

Максимально допустимые значения tg δ изоляции обмоток трансформатора, %

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки °С,						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 2500 *ква*	1,5	2	2,6	3,4	4,6	6	8
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10000 *ква*	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4,5	6
35 *кв*, мощность 10000 *ква* и больше и 110 *кв* независимо от мощности	0,8	1	1,3	1,7	2,3	3	4

Примечание. Значения tg δ относится ко всем обмоткам данных трансформаторов.

Таблица IX.6

Минимальные значения $\frac{\Delta C}{C}$ обмоток трансформаторов без масла, %

№ п. п.	Класс напряжения обмотки ВН	Температура, °С				
		10	20	30	40	50
1	До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква* $\left(\frac{\Delta C}{C}\right.$ в конце ревизии$\left.\right)$	13	20	30	45	75
2	То же (разность между значениями $\frac{\Delta C}{C}$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре)	4	6	9	13,5	22
3	До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* и больше независимо от мощности $\left(\frac{\Delta C}{C}\right.$ в конце ревизии$\left.\right)$	8	12	18	29	44
4	До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* больше независимо от мощности (разность между значениями $\frac{\Delta C}{C}$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре)	3	4	5	8,5	13

Примечание. Значения $\frac{\Delta C}{C}$, измеренные по первым двум схемам для двухобмоточных трансформаторов и по первым трем схемам для трехобмоточных относятся ко всем обмоткам данных трансформаторов.

Условия включения без сушки трансформаторов I группы: а) уровень масла находится в пределах отметок маслоуказателя; б) в масле не обнаружено следов воды; пробивное напряжение масла удовлетворяет нормам, приведенным в табл. IX.3; в) величина $\frac{R_{60}}{R_{15}}$

Таблица IX.7

Максимально допустимые значения $\frac{C_2}{C_{50}}$ обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки, °С		
	10	20	30
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	1,1	1,2	1,3
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* независимо от мощности	1,05	1,15	1,25

не превышает указанных выше значений, г) если обмотки трансформатора и переключатель покрыты маслом или пробивное напряжение масла снижено по сравнению с нормой (не больше чем на 5 *кв*), дополнительно определяют величину $\frac{C_2}{C_{50}}$ (C_2 — емкость при частоте тока 2 *гц* для сухой изоляции; C_{50} — емкость при частоте 50 *гц* для влажной изоляции) или tg δ обмоток в масле. При ревизии со сливом масла определяют величину $\frac{\Delta C}{C}$ активной части трансформатора без масла.

Значения $\frac{C_2}{C_{50}}$, tg δ и $\frac{\Delta C}{C}$ должны соответствовать нормам, приведеным в табл. IX.5.— IX.7. Когда отношение $\frac{C_2}{C_{50}}$ не соответствует указанным выше нормам, необходимо измерить tg δ обмоток. Если величина последнего не удовлетворяет нормам, измеряют tg δ масла, которым залит трансформатор. В случае, когда tg δ масла при температуре 20° С на 0,6% выше нормы, следует принять меры, исключающие его влияние (заменить масло, снизить tg δ масла).

Если же снизить tg δ масла или заменить масло невозможно, следует измерить величину $\frac{\Delta C}{C}$ активной части трансформатора (без масла) или отношение $\frac{C_г}{C_х}$ при контрольном прогреве в масле, которые должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. IX.6 и IX.8.

Чтобы включить трансформаторы I группы без сушки, достаточно соблюдения одной из следующих комбинаций условий.

1. Для трансформаторов мощностью до 100 *ква* включительно (без расширителя), транспортируемых с маслом: 1) пп. а, б; 2) пп. б, г; 3) пп. а, г.

2. Для трансформаторов мощностью свыше 100 *ква*, но меньше 2500 *ква*, напряжением 35 *кв* включительно, транспортируемых с маслом: 1) пп. а — в; 2) пп. б — г; 3) пп. а, в, г.

Таблица IX.8

Максимально допустимые значения $\frac{C_г}{C_х}$ обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки ВН	$\frac{C_г}{C_х}$
До 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	1,1
До 35 *кв* включительно, мощность 10 000 *ква* и больше; 110 *кв* и больше независимо от мощности	1,05

II группа. Трансформаторы мощностью меньше 10 000 *ква*, напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемые с маслом, без расширителя.

Такие трансформаторы при монтаже проверяют аналогично трансформаторам I группы; характеристики изоляции $\left(\text{отношения } \frac{R_{60}}{R_{15}} \text{ и } \frac{C_2}{C_{50}}\right)$ определяют при температуре ниже 10° С.

Примечание. При определении возможности включения трансформаторов без сушки необходимо измерить характеристики изоляции после монтажа трансформатора и доливки маслом. Для предварительного суждения о состоянии изоляции перед монтажом или при подготовке трансформатора к прогреву либо сушке характеристики можно измерить до ревизии (если таковая предусмотрена).

Окончательные измерения характеристик изоляции допускается производить до навески радиаторов.

Условия включения без сушки трансформаторов II группы: а) герметичность трансформатора; б) в масле не обнаружено следов воды; пробивное напряжение масла удовлетворяет нормам, приведенным в табл. IX. 9; в) отношения $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ и $\frac{C_2}{C_{50}}$, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, соответствуют нормам, приведенным в табл. IX.4 и IX.7; г) если указанные в п. в величины (порознь или вместе) не удовлетворяют нормам, дополнительно измеряют величину tg δ обмотки в масле; эта величина должна соответствовать данным табл. IX.5 или же не должна отличаться от данных заводского протокола, приведенных к температуре измерения на монтаже в соответствии с данными табл. IX.9 и рис. IX.1, больше чем на 30%

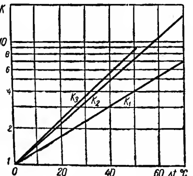


Рис. IX.1. График для определения коэффициентов K_1, K_2, K_3, служащих для пересчета значений соответственно tg δ, R_{60} и $\frac{\Delta C}{C}$.

в сторону ухудшения (когда tg δ не удовлетворяет нормам, а данные заводских измерений отсутствуют, измеряют tg δ масла, которым залит трансформатор; если tg δ превышает 0,6%, масло следует заменить); д) если снизить tg δ масла (или заменить масло) невозможно, нужно измерить отношение $\frac{\Delta C}{C}$ активной части трансформатора (без масла) либо $\frac{C_г}{C_х}$ при контрольном прогреве в масле, которые должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. IX.6 и IX.8.

Таблица IX.9

Значения коэффициентов K_1 и K_2

t_2-t_1, °C	K_1	K_2	t_2-t_1, °C	K_1	K_2
5	1,15	1,23	40	3,0	5,1
10	1,31	1,5	45	3,5	6,2
15	1,51	1,84	50	4,0	7,5
20	1,75	2,25	55	4,6	9,2
25	2,0	2,75	60	5,3	11,2
30	2,3	3,4	65	6,1	13,9
35	2,65	4,15	70	7,0	17

Для включения трансформаторов II группы без сушки достаточно соблюдения одной из следующих комбинаций условий: 1) пп. а — в; 2) пп. а, б, г; 3) пп. а, б, д (эта комбинация используется только в том случае, если условия пункта г не выполнены из-за низкого значения tg δ масла).

III группа. Трансформаторы мощностью 10 000 *ква* и больше, напряжением до 35 *кв* включительно, транспортируемые с маслом, без расширителя.

Когда производят монтаж, трансформаторы проверяют в следующем объеме:

1) внешний осмотр, проверка наличия пломб на кранах и у пробки для отбора пробы масла, испытание герметичности уплотнений трансформатора;

2) отбор пробы и сокращенный анализ масла (определение пробивного напряжения, кислотного числа, отсутствия воды и механических примесей);

3) определение отношения $\frac{\Delta C}{C}$ (в начале и конце ревизии до заливки маслом), если предусмотрен осмотр активной части трансформатора со сливом масла;

4) измерение сопротивления изоляции R_{60}, определение отношений $\frac{R_{60}}{R_{15}}$, $\frac{C_2}{C_{50}}$ или $\operatorname{tg}\delta$ обмоток;

5) измерение $\operatorname{tg}\delta$ обмоток (после окончания монтажа и заливки маслом), если не предусмотрен осмотр активной части трансформатора с определением отношения $\frac{\Delta C}{C}$.

Условия включения без сушки трансформаторов III группы: а) трансформатор герметичен; б) в масле отсутствуют следы воды; пробивное напряжение масла удовлетворяет нормам, приведенным в табл. IX.3; в) отношение $\frac{\Delta C}{C}$, измеренное в конце ревизии (если таковая производится), а также приращение этого отношения, измеренного в конце и начале ревизии и приведенного к единой температуре, не превышает значений, указанных в табл. IX.6; г) величины R_{60}, $\frac{C_2}{C_{50}}$ и $\operatorname{tg}\delta$, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, соответствуют данными табл. IX.4, IX.5 и IX.7 или не отличаются от данных заводского протокола, приведенных к температуре изоляции при измерении этих характеристик на монтаже, больше чем на 30% в сторону ухудшения; д) значения $\operatorname{tg}\delta$ обмоток, измеренные согласно п. 4, после окончания монтажа и заливки маслом удовлетворяют требованиям п. 5; е) если одна из указанных пп. 4 и 5 величин не удовлетворяет нормам, дополнительно измеряют значения R_{60} и $\operatorname{tg}\delta$ обмоток в масле, которые не должны отличаться от данных заводского протокола больше чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения трансформаторов III группы без сушки достаточно соблюдения одной из следующих комбинаций условий: 1) пп. а — г; 2) пп. а, б, г, д; 3) пп. а, в, е.

IV группа. Трансформаторы напряжением 110 *кв* и выше, транспортируемые с маслом, без расширителя.

При монтаже такие трансформаторы проверяют аналогично трансформаторам III группы. Величины $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ и $\operatorname{tg}\delta$ обмоток определяют при температуре не ниже 10° С.

Условия включения без сушки трансформаторов IV группы: а) трансформатор герметичен; б) в масле не обнаружено следов воды; пробивное напряжение масла удовлетворяет нормам (табл. IX.3); в) отношение $\frac{\Delta C}{C}$, измеренное в начале и конце ревизии (если таковая производится) и приведенное к одной температуре, не превышает значений, указанных в табл. IX.6; г) значения R_{60} и $\operatorname{tg}\delta$ обмотки, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, соответ-

ствуют данным табл. IX.4 и IX.5, если не отличаются от данных заводского протокола, приведенных к температуре измерения при монтаже, больше чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения трансформатора IV группы без сушки достаточно соблюдения одной из следующих комбинаций условий: 1) п.п. а, б, г (если не предусмотрена ревизия активной части); 2) п.п. а, б, в, г (если предусмотрена ревизия активной части со сливом масла).

V группа. Трансформаторы напряжением 110 *кв* и выше, транспортируемые без масла.

Эти трансформаторы, заполненные сухим воздухом, при монтаже проверяют в следующем объеме:

1) внешний осмотр, проверка наличия пломб на кранах и у пробки для отбора пробы масла, испытание герметичности уплотнений;

2) отбор пробы остатков масла со дна бака и сокращенный анализ его (определение пробивного напряжения, отсутствия воды и механических примесей);

3) проверка состояния индикаторного селикагеля или другого индикатора увлажнения (если таковой имеется); когда селикагель голубого цвета или индикатор увлажнения, согласно заводской инструкции, не указывает увлажнения, проверка продолжается в указанном ниже порядке и объеме; если же индикаторный селикагель потерял голубой цвет, а другой индикатор указывает на увлажнение, дальнейшая проверка не производится, трансформатор готовится к сушке;

4) определение величины $\frac{\Delta C}{C}$ в начале и конце ревизии активной части (если таковая предусмотрена); масло заливают в бак, как правило, только при положительных результатах испытаний и измерений по пп. 1—3;

5) определение значений $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ и $\operatorname{tg}\delta$ обмоток, а также пробивного напряжения масла через 12 *ч* после заливки бака трансформатора маслом (при температуре не ниже 40° С).

Условия включения без сушки трансформаторов V группы: а) трансформатор герметичен; б) в масле не обнаружено следов воды; пробивное напряжение масла и $\operatorname{tg}\delta$ масла удовлетворяют нормам (табл. IX.3 и IX.5); в) индикаторный селикагель имеет голубой цвет; индикатор увлажнения, согласно заводской инструкции, не указывает увлажнения; г) отношение $\frac{\Delta C}{C}$, измеренное в конце ревизии и в конце и начале ревизии (приведенное к одной температуре), не превышает данных, приведенных в табл. IX,6; д) значения R_{60} и $\operatorname{tg}\delta$ обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки

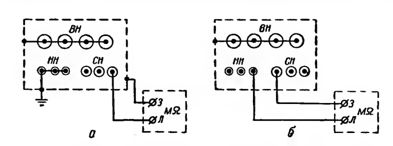
маслом, ие отличаются от заводских даииых, приведеииых к температуре измереиия при монтаже, больше чем иа 30% в сторону ухудшеиия.

Для включеиия траисформаторов V группы без сушки достаточио соблюдения одной из следующих комбииаций: 1) пп. а — д или 2) пп. а — в, д (если ревизия активиой части не предусмотрена и ие производилась).

Методика измерения характеристик изоляции

Характеристики изоляции следует измерять при температуре изоляции ие иилсе 10° С.

Измереиия после заливки бака траисформатора маслом допускается производить ие раиее чем через 12 *ч* после ее окоичаиия. Перед



Рнс. IX.2. Схемы нзмерення сопротивления нзоляции обмоток трансформатора мегомметром на 1000 — 2500 *в*:
а — по отношению к корпусу; *б* — между обмотками трансформатора.

измереииями иеобходимо иачисто протереть поверхиость вводов трансформатора. При влажиой погоде или если иевозможио обеспечить чистоту поверхиости вводов, рекомендуется примеиять экраиы. Все доступиые вводы испытуемых обмоток должиы быть соедииеиы между собой. Бак траисформатора следует иадежно заземлить. Заземляющий провод присоедиияется под специальиый заземляющий болт.

Прежде всего следует измерить зиачеиия сопротивлеиия изоляции $R_{из}$, емкость C и приращеиие емкости ΔC проводов, соединяющих приборы с траисформатором. Длииа проводов должиа быть возможио меиьше, поэтому приборы иужио располагать как можно ближе к траисформатору. Измереиное зиачение $R_{из}$ проводов должио быть ие меиьше верхиего предела измереиия мегомметра. Если величииу ΔC и C проводов можио определить по прибору, виосится поправка в результат измереиия полиостью собраиной схемы с испытуемым траисформатором.

Характеристики изоляции измеряют по следующим схемам (рис. IX.2):

Двухобмоточные трансформаторы	Трехобмоточные трансформаторы
ВН—бак, НН	ВН—бак, СН, НН
НН—бак, ВН	СН—бак, ВН, НН
ВН+НН—бак	НН—бак, ВН, СН
	ВН+СН—бак, НН
	ВН+СН+НН—бак

где ВН, СН и НН — соответственно обмотки высшего среднего и низшего напряжения. При измерении все неиспытуемые обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены (совместно). Вначале измеряют R_{15} и R_{60}, затем — остальные характеристики трансформатора.

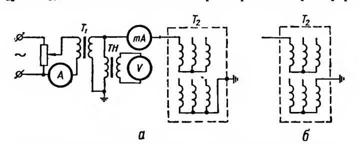


Рис. IX.3. Схемы измерения емкости обмоток трансформатора методом вольтметра — амперметра:
а — по отношению к корпусу; *б* — между обмотками трансформатора.

За оптимальную температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву или подогреву, принимают температуру верхних слоев масла, измеренную термометром. Если температура масла ниже 10° С, трансформатор следует подогреть.

При нагреве трансформатора температуру изоляции принимают равной средней температуре обмотки ВН, определяемой по сопротивлению обмотки постоянному току. Это сопротивление измеряют не раньше, чем через 60 *мин* после окончания нагрева током или через 30 *мин* после внешнего нагрева.

Сопротивление изоляции измеряют по приведенным выше схемам мегомметром на 2500 *в* с верхним пределом измерения не ниже 10000 *Мом*. Перед началом измерения испытуемая обмотка должна быть заземлена не меньше чем на 2 *мин*. Показания мегомметра отсчитывают через 15 и 60 *сек* после приложения напряжения к изоляции обмотки. За начало отсчета допускается принимать начало вращения рукоятки мегомметра. По результатам измерения сопротивления изоляции определяют коэффициент абсорбции $K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}}$.

Емкость и $\operatorname{tg}\delta$ обмоток измеряют мостом переменного тока по перевернутой схеме (см. гл. III). Допускается применять нормаль-

ную схему с заземленной днагональю моста. В результат нзмерення должны быть внесены соответствующне поправкн на паразитные емкостн н $\mathrm{tg}\,\delta$ схемы нспытання, которые дополннтельно нзмеряют прн отключенном объекте нспытання.

У трансформаторов, залнтых маслом, напряженне нспытуемой обмоткн не должно быть 10 *кв* и не должно превышать больше чем на 60% заводское нспытательное напряженне. У трансформаторов, не залнтых маслом н нмеющнх напряженне нняже 35 *кв*, нспытательное напряженне не должно превышать 3 *кв*.

Прн сушке трансформатора без масла $\mathrm{tg}\,\delta$ допускается измерять прн напряженнн не выше 220 *в*.

Отношенне $\frac{C_2}{C_{50}}$ нзмеряется прнбором контроля влажностн тнпа ПКВ, а $\frac{\Delta C}{C}$ — спецнальным прибором тнпа ЕВ-3. Перед началом нзмерення испытуемая обмотка должна быть заземлена не меньше чем на 2 *мин*.

Велнчнну $\frac{C_г}{C_x}$ определяют как отношенне емкостн трансформатора $C_г$ прн температуре выше 70°С к емкостн C_x прн температуре на 50°С ннже температуры нзмерення $C_г$. В обонх случаях емкость измеряют мостом переменного тока тнпа МД-16. Прн отсутствнн моста для трансформаторов напряженнем до 35 *кв*, мощностью меньше 10 000 *ква* $C_г$ н C_x допускается измерять методом вольтметра — амперметра (рнс. IX.3).

Емкость определяют по формуле

$$C = \frac{I}{2\pi fU} = \frac{I10^6}{314U} \ [мкф]. \qquad (IX.1)$$

Емкость снловых трансформаторов в холодном состояннн колеблется в пределах 1000 — 10 000 *пф*.

Относнтельную влажность воздуха определяют аспнрацнонным псяхрометром (ГОСТ 6353-52) нлн комнатным термометром по разностн показаннй сухого н смоченного термометров н псяхрометрнческнм таблнцам, прнложенным к приборам.

Нормы отбраковки изоляции

Значение $\mathrm{tg}\,\delta$ обмоток вновь вводнмых трансформаторов с напряженнем обмоткн ВН до 110 *кв* включнтельно, залитых маслом (ГОСТ 982-56), не должно превышать значеннй, указанных в табл. IX.5.

Прнведенне значеннй $\mathrm{tg}\,\delta$, нзмеренных на заводе, к значениям прн температуре монтажа, а также определенне нормнрованных значеннй $\mathrm{tg}\,\delta$ прн температурах, не кратных десятн, осуществляется с помощью коэффнцнента K_1.

Примеры. 1. Согласно заводским данным (измерение по схеме ВН—бак, НН), при температуре 61° С $\operatorname{tg}\delta = 1{,}1\%$; температура изоляции трансформатора при монтаже равняется 20° С, $t_2 - t_1 = 41°$ С. По рис. IX.1 находим $K_1 = 3{,}1$.

Величина $\operatorname{tg}\delta$, приведенная к 20° С, составляет $\frac{1{,}1}{3{,}1} = 0{,}35\%$. На монтаже $\operatorname{tg}\delta$ не должен превышать этой величины больше чем в 1,3 раза.

2. У трансформатора напряжением 35 *кв*, мощностью 1300 *ква* на монтаже при температуре изоляции трансформатора 15° С $\operatorname{tg}\delta = 1{,}6\%$. Эта величина не должна превышать нормированное значение $\operatorname{tg}\delta$. Поскольку в табл. IX.5 даны нормированные значения $\operatorname{tg}\delta$ при температурах, кратных десяти, для сравнения необходимо определить это значение при температуре 15° С. Для этого указанную в табл. IX.5 норму $\operatorname{tg}\delta$ (например, при 20° С) с помощью коэффициента K_1 приводят к температуре 15° С: для $t_2 - t_1 = 20 - 15 = 5°$ С имеем $K_1 = 1{,}15$, тогда $\operatorname{tg}\delta = \frac{2}{1{,}15} = 1{,}739\%$.

Сопротивление изоляции. Для вновь вводимых трансформаторов с напряжением обмотки ВН до 110 *кв* включительно, залитых маслом (ГОСТ 982—66), R_{60} не должны быть меньше значений, указанных в табл. IX.4. Чтобы привести значения R_{60}, измеренные на заводе, к температуре монтажа и определить нормированные значения R_{60} при температурах, не кратных десяти, производится пересчет с помощью коэффициента K_2.

Примеры. 1. Данные заводского протокола: при температуре 61° С $R_{60} = 450$ *Мом* (измерение по схеме ВН—бак, НН); температура изоляции трансформатора при монтаже равняется 21° С, $t_2 - t_1 = 40°$ С. Согласно данным табл. IX.9 (или рис. IX.1), $K_2 = 5{,}1$.

Сопротивление изоляции, приведенное к 21°С, $R_{60} = 450 \cdot 5{,}1 = 2300$ *Мом*.

На монтаже сопротивление изоляции должно быть не ниже 70% этого значения, т. е. примерно 1600 *Мом*.

2. Данные измерения на монтаже для трансформатора напряжением 35 *кв*, мощностью 6300 *ква*: $R_{60} = 500$ *Мом* при температуре изоляции трансформатора 13° С. Эта величина должна быть не ниже нормированного значения R_{60}. Поскольку в табл. IX.4 даны нормированные значения при температурах, кратных десяти, для сравнения необходимо определить значение R_{60} при 13° С. Для этого указанную в табл. IX.4 норму (например, при 20° С — 300 *Мом*) с помощью коэффициента K_2 приводят к температуре 13° С.

Для $t_2 - t_1 = 20 - 13 = 7°$С имеем $K_2 = 1{,}3$. При 13° С $R_{60} = 300 \cdot 1{,}3 = 390$ *Мом*.

Отношение $\frac{R_{60}}{R_{15}}$. Для трансформаторов мощностью меньше 10 000 *ква*, напряжением до 35 *кв* включительно величина $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ обмоток при температуре 10—30° С должна быть не ниже 1,3.

Отношение $\frac{\Delta C}{C}$. Для вновь вводимых трансформаторов при измерении во время монтажа без масла это отношение, а также разность его при измерении в конце и начале ревизии (приведенная к одной температуре) не должны превышать значений, указанных в табл. IX.6.

Приведение $\frac{\Delta C}{C}$, измеренного в конце ревизии при температуре

обмотки ВН t_1, к температуре обмотки ВН, измеренной в начале ревизии, t_2, а также разности измерений этого отношения в конце и начале ревизии производится путем умножения на коэффициент температурного пересчета K_3 (табл. IX.10, рис. IX.1).

Таблица IX.10

Значения коэффициента K_3

t_2-t_1, °C	K_3	t_2-t_1, °C	K_3
5	1,25	30	3,7
10	1,55	35	4,6
15	1,95	40	5,7
20	2,4	45	7
25	3	50	8,8

Пример. Начальное значение $\frac{\Delta C}{C}$ обмотки ВН трансформатора напряжением 110 *кв* при температуре изоляции обмотки 20° С равно 4%; в конце ревизии при температуре обмотки 15° С $\frac{\Delta C}{C} = 6$; $t_2 - t_1 = 5°$ С, $K_3 = 1,25$.

Величина $\frac{\Delta C}{C}$, приведенная к 20° С, составляет 7,5% (6 · 1,25). Разность значений $\frac{\Delta C}{C}$ в конце и начале ревизии, приведенных к 20° С: 7,5 — 4 = 3,5%. Полученная разность, согласно данным табл. IX.6, не должна превышать 4%.

Пробивные напряжения пробы масла. Пробы масла из трансформаторов, транспортируемых с маслом, остатков масла из трансформаторов, транспортируемых без масла, а также масла из трансформаторов после заливки их во время монтажа должны удовлетворять нормам ПТЭ, т. е. иметь пробивное напряжение не меньше, величин, указанных в табл. IX.3.

Электрическая прочность масла проверяется в соответствии с ГОСТом 6581—53. $\mathrm{tg}\,\delta$ масла при температуре 20° С должен быть не больше 0,6%.

Испытание трансформаторного масла на пробой. Качество масла проверяется до испытания главной и витковой изоляции трансформатора, чтобы предупредить возможное повреждение его при испытании. При приемо-сдаточных испытаниях трансформаторное масло проверяется по нормам, приведенным в табл. IX.3. Для испытаний масла используют аппарат типа АКИ-70 (см. гл. IV). Аппарат имеет фарфоровый сосуд, в который заливают 0,5 *л* подлежащего испытанию масла. В сосуде укреплены два латунных электрода диаметром 25 *мм*; расстояние между электродами, т. е. толщина слоя масла между ними, должна быть 2,5 *мм*

(расстояние от электрода до дна и стенок сосуда, в котором проводят испытание, должно быть не меньше 15 *мм*).

Условия ведения испытаний трансформаторного масла на пробой.

1. Перед испытанием банку или бутылку с пробой масла несколько раз медленно поворачивают вверх дном, чтобы не было пузырьков воздуха в масле.

2. Фарфоровый сосуд, в котором испытывают масло, вместе с электродами три раза ополаскивают маслом из пробы. При третьем ополаскивании масло льют на электроды, так как поверхность их после испытаний покрыта подгорелыми частицами масла.

3. После каждого ополаскивания масло полностью сливают.

4. Масло льют на стенки сосуда небольшой струей, чтобы не образовались воздушные пузырьки.

5. Уровень залитого масла в сосуде должен быть на 15 *мм* выше верхнего края электрода.

6. Залитому в сосуд маслу дают отстояться в течение 10 *мин*, чтобы из него могли выйти пузырьки воздуха.

7. После отстойки масла напряжение на электродах плавно повышают со скоростью 1—2 *кв/сек* до пробоя. Пробой отмечается искрой между электродами и спаданием стрелки вольтметра до нуля.

8. После пробоя масла напряжение снижают до нуля, а затем вновь увеличивают до следующего пробоя.

9. Из промежутка между электродами после каждого пробоя стеклянным или металлическим стержнем (чистым) удаляют обуглероженные частицы жидкости (масла). Затем жидкости дают отстояться в течение 10 *мин* (ГОСТ 6581-53).

10. Значения напряжения, при котором происходят шесть пробоев масла, записывают в протокол испытания.

11. Значение пробивного напряжения определяют как среднее арифметическое пяти показаний (первый отсчет во внимание не принимают).

12. Электрическую прочность масла оценивают по данным табл. IX.3. Показания, при которых в масле замечена дуга, в расчет не принимают. Когда дуга появляется вновь (плохое масло), среднее арифметическое значение напряжения определяют с учетом этих показаний.

13. Один раз в три месяца протирают электроды и проверяют расстояние между ними.

Отношение $\frac{C_2}{C_{50}}$ для обмоток вновь вводимых трансформаторов, залитых маслом (ГОСТ 982-56), измеренное на монтаже, не должно превышать данных табл. IX.7.

Отношение $\frac{C_г}{C_х}$ для вновь вводимых трансформаторов, залитых маслом, не должно превышать значений, указанных в табл. IX.8.

Дополнительные мероприятия

Если условия транспорта, хранения, монтажа и включения трансформаторов без сушки, указанные в инструкции (СН, 171-61), не соблюдены, трансформатор должен быть подвергнут контрольному прогреву или сушке. При этом, когда нет оснований предполагать значительного увлажнения изоляции, допускается контрольный прогрев в масле при температуре верхних слоев его 70—80° С.

Во время такого прогрева периодически измеряют характеристики изоляций. Когда характеристики соответствуют требованиям инструкции (СН, 171-61), прогрев прекращают, но не раньше чем через 24 *ч* после достижения температуры 70—80° С.

Длительность контрольного прогрева в масле не должна превышать 48 *ч*, не считая времени нагрева; если за это время характеристики изоляции не достигли требуемых по инструкции значений, трансформатор подлежит сушке.

Контрольный прогрев в масле производят в следующих случаях: а) время пребывания активной части трансформатора на воздухе превышает время, указанное в табл. IX. 11, но не больше чем вдвое; б) характеристики изоляции не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям; в) трансформатор, транспортируемый без масла, не заполнен маслом, а трансформатор, транспортируемый с маслом, но без расширителя, не долит маслом в сроки, указанные в инструкции (СН, 171-61). Если трансформатор, транспортируемый без масла, в течение 12 месяцев со дня отправки с завода не залит маслом, контрольный прогрев в масле производят в течение 48 *ч* под вакуумом (720 *мм рт. ст.* для трансформаторов напряжением 330, 400, 500 *кв*; 700 — для трансформаторов напряжением 220 *кв* и 350 *мм рт. ст.* для трансформаторов напряжением 110 и 150 *кв*). Когда осуществить это нельзя, трансформатор подвергают сушке.

Таблица IX. 11

Максимально допустимое пребывание активной части трансформаторов на воздухе, *ч*

Характеристика трансформатора	Относительная влажность воздуха, %			Температура окружающего воздуха, ° С
	до 65	до 75	выше 75	
Напряжение до 35 *кв* включительно, мощность меньше 10 000 *ква*	24	16	12	—12
Напряжение 35 *кв*, мощность 10 000 *ква* и больше; все трансформаторы напряжением 110 *кв* и больше	16	12	8	—8

Контрольный прогрев в масле не допускается в следующих случаях: а) на активной части или в баке трансформатора обнаружены следы влаги; б) индикаторный селикагель потерял голубой цвет; в) другой индикатор указывает увлажнение; г) время пребывания активной части трансформатора на воздухе в два раза превышает данные табл. IX.11.

В перечисленных выше случаях, а также, когда комплексное рассмотрение всех приведенных в инструкции (СН. 171-61) показателей указывает на значительное увлажнение изоляции, трансформатор следует осушить.

3. Испытание трансформаторного масла

Согласно ПУЭ, I-8-33, качество трансформаторного масла должно быть испытано в объеме, предусмотренном данными табл. IX.12.

Таблица IX. 12

Объем и нормы испытаний трансформаторного масла

Показатель качества масла	Свежее масло перед заливкой в аппараты			Чистое сухое масло непосредственно после заливки в аппараты		
	ГОСТ 982—56	ГОСТ 10121—62	ВТУ НП № 75—60	ГОСТ 982—56	ГОСТ 10121—62	ВТУ НП № 75—60
Минимальное пробивное напряжение масла, определяемое в стандартном сосуде для трансформаторов, аппаратов и изоляторов с различным напряжением, *кв*:						
до 15	—	—	—	25	25	25
15—35	—	—	—	30	30	30
60—220	—	—	—	40	40	40
Максимальное кислотное число, КОН, на 1 *г* масла, *мг* .	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02
Минимальная температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	135	150	145	135	150	45
Максимальная кинематическая вязкость, $м^2/сек$:						
$t = 20°$ С	30	23—28	30	30	23—28	30
$t = 50°$ С	9,6	8—9	9,5	9,5	8—9	9.5
Высшая натровая проба с подкислением, балл	2	1	2	Не нормируется		
Прозрачность при $t = 5°$ С	Прозрачно			То же		

Показатель качества масла	Свежее масло перед заливкой в аппараты			Чистое сухое масло непосредственно после заливки в аппараты		
	ГОСТ 982–56	ГОСТ 10121–62	ВТУ НП № 75–60	ГОСТ 982–56	ГОСТ 10121–62	ВТУ НП № 75–60
Склонность к образованию водорастворимых кислот, КОН, в начале старения (максимальное содержание летучих и нелетучих кислот на 1 *г* масла), *мг*	0,005	0,005	0,003	Не нормируется		
Общая стабильность против окисления:						
максимальное количество осадка после окисления, %	0,1	—	0,04	То же		
максимальное кислотное число окисленного масла, КОН, на 1 *г* масла, *мг*	0,35	0,1	0,42	»	»	
Максимальное содержание серы, %	—	0,6	0,2	»	»	
tgδ при напряженности электрического поля 1 *кв/мм*, %:						
$t = 20°$ C	0,3	0,3	0,15	0,4	0,4	0,3
$t = 70°$ C	2,5	2,5	2	3,5	3,5	2,5

Примечания.

1. В трансформаторном масле должны отсутствовать механические примеси и взвешенные частицы угля.
2. Реакция водяной вытяжки (водорастворимые или низкомолекулярные кислоты) должна быть нейтральная.
3. Зольность масла не должна превышать 0,005%.
4. Температура застывания масла выключателей, находящихся в неотапливаемом помещении или на открытом распределительном устройстве при температуре воздуха не ниже —20° С, не должна превышать —35° С, при температуре воздуха ниже —20° С не должна быть больше —45° С.
5. Для силовых трансформаторов с выносными радиаторами температура застывания масла при температуре ниже —20° С не должна превышать —45° С.

Температура застывания масла остальных трансформаторов не нормируется.

Таблица IX. 13

Значения пробивных напряжений шаровых разрядников при $f = 50$ *гц*

Расстояние между шарами, *см*	Напряжение, *кв*	Расстояние между шарами, *см*	Напряжение, *кв*
1	21,9	7	130,1
1,5	31,8	10	171,8
2	41,7	11	183,9
2,6	50,9	12	194,5
3	60,8	15	222
4	79,2	20	256,7
5	96,9	25	280

Масло, отбираемое из аппаратов перед их включением под напряжение, должно быть подвергнуто сокращенному анализу по шести первым показателям табл. IX.13.

При заливке в аппараты свежих кондиционных масел разных марок смесь их следует проверять на стабильность в пропорциях смешения. Стабильность смеси должна быть не хуже, чем у одного из смешиваемых масел, обладающего наименьшей стабильностью.

4. Испытание электрической прочности главной изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением относительно корпуса и других обмоток

Электрическую прочность главной изоляции обмоток трансформатора испытывают по схеме, приведенной на рис. IX. 4.

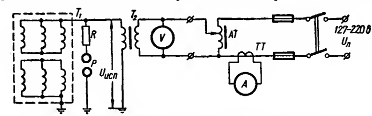


Рис. IX.4. Схема испытания электрической прочности изоляции трансформаторов повышенным напряжением переменного тока.

При испытании выводы обмотки испытуемого трансформатора T_1 накоротко замыкают и подводят к одному концу испытательного трансформатора T_2. Другой конец трансформатора T_2 соединяют с землей. Вторичную обмотку трансформатора T_2 тоже замыкают накоротко и заземляют вместе с баком трансформатора (или с магнитопроводом у трансформаторов с воздушным охлаждением — сухих).

Длительность приложения испытательного напряжения $U_{исп} = 1$ *мин*. Вначале испытывают обмотку низшего напряжения, затем среднего и высшего (см. табл. IX. 1). Напряжение к первичной обмотке испытательного трансформатора подводят от регулировочного АТ типа АОСК-25/0,5, которым можно плавно регулировать напряжение от 0 до 220 или 380 *в*.

Для сухих трансформаторов допускается применять напряжение, составляющее 75% заводского испытательного напряжения. Продолжительность испытания 1 *мин*. Контрольные испытания трансформаторов до 35 *кв* проводят при температуре верхнего слоя масла, равной температуре окружающего воздуха. Контрольные испытания

трансформаторов напряжением 110 *кв* и больше осуществляют при температуре верхних слоев масла не ниже 55° С.

При испытании трансформаторов с номинальным напряжением до 10 *кв* в качестве испытательного трансформатора можно использовать ТН типа НОМ-35 или три трансформатора типа НОМ-10, включаемые каскадом (если мощность их окажется достаточной).

Трансформаторы напряжением 35 или 110 *кв* можно испытывать от двух последовательно включаемых ТН типа НОМ-35 и НКФ-110. Во всех случаях желательно применять специальные испытательные трансформаторы типа ОМ-33/35 и ИОМ-100/100.

Испытание проводят при начальном напряжении до $\frac{1}{3}$ $U_{исп}$, а затем его плавно поднимают до испытательного с быстротой, допускающей возможность правильного снятия показаний измерительных приборов. По истечении 1 *мин* напряжение плавно снижают до нуля.

Для трансформаторов небольшой и средней мощности напряжением до 35 *кв* испытательное напряжение допускается измерять вольтметром, включая его на стороне НН испытательного трансформатора. При испытании мощных и особенно высоковольтных трансформаторов (110 *кв* и больше) применяют шаровые разрядники (рис. IX. 4) с диаметром шара 25 *см* (табл. IX. 13).

Низковольтный вольтметр класса 0,5 включают на стороне НН и градуируют по шаровому разряднику до 80—90% $U_{исп}$.

Падение напряжения в испытательном трансформаторе из-за емкости обмоток испытуемого трансформатора увеличивает вторичное напряжение, т. е. при неизменном напряжении, приложенном на НН, оно повышает коэффициент трансформации до 120%.

При испытании трансформаторов расширитель или дыхательную трубку необходимо оставлять открытыми.

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции, отмеченных по звуку разрядов в баке, выделению газов, дыма или по показанию приборов (при пробое напряжение падает, а ток увеличивается).

До испытания и после него мегомметром на 1000—2500 *в* измеряют сопротивление изоляции обмоток трансформатора.

5. Испытание изоляции стяжных болтов магнитопровода

Электрическую прочность изоляции стяжных болтов магнитопровода, доступных при выемке сердечника, испытывают переменным напряжением 1000 *в* в течение 1 *мин* (см. гл. III).

При испытании один полюс испытательного трансформатора заземляют, а другой присоединяют к стяжному болту заземленного

магнитопровода. Если изоляция болта исправна, стрелка вольтметра не колеблется. Плохая изоляция резко понижает напряжение. При полном замыкании стяжного болта с корпусом (магнитопроводом) напряжение падает до нуля. Указанное испытание можно проводить также постоянным током (мегомметром на 2500 *в*).

Измерение сопротивления изоляции стяжных болтов относительно магнитопровода проверяют мегомметром напряжением не ниже 1000 *в*.

Сопротивление изоляции стяжных болтов не нормируется. Обычно оно колеблется в пределах 2—3 *Мом* для трансформаторов до 10 *кв* и 10—20 *Мом* для трансформаторов 110 *кв* и выше. Если сопротивление изоляции на 50% ниже исходной величины, необходимо выяснить причины пониженного сопротивления и устранить их. Повреждение изоляции обычно бывает под гайками на изолирующих шайбах и на изолирующей трубе стержня болта.

6. Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Целью измерения сопротивления обмоток является проверка состояния цепей, контактов и паек. Методы измерения сопротивления подробно изложены в гл. III.

Сопротивление обмоток трансформаторов постоянному току измеряется методом вольтметра—амперметра по схеме, указанной на рис. IX.5.

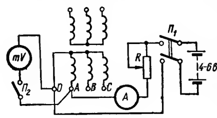


Рис. IX.5. Схема измерения сопротивления обмоток трансформатора постоянному току (со стороны НН).

Величина сопротивления обмотки принимается как среднее трех — пяти измерений, произведенных на каждом положении переключателя. Во избежание нагрева обмотки и внесения ошибок в результаты измерения, ток при измерении не должен превышать 20% номинального.

Сопротивление проводов, присоединяемых к вольтметру, должно быть не больше 0,5% сопротивления обмотки вольтметра. Провод от вольтметра следует присоединять к зажимам трансформатора раздельно от провода таковой цепи.

Порядок проведения операций при измерении по схеме, приведенной на рис. IX. 5, следующий.

Рубильником $П_1$ включается ток; реостатом R устанавливается минимальное значение тока, которое может быть отмечено по шкале

амперметра. После установления тока рубнльннком $П_2$ включается милливольтметр. Затем определяется сопротнвление

$$R = \frac{\Delta U}{I}. \qquad \text{(IX. 2)}$$

Выключается ток в обратном порядке, т. е. сначала отключается милливольтметр, затем вводнтся полностью сопротнвленне R, после чего рубнльником $П_1$ отключается ток.

Сопротивление измеряется на всех выводах трансформатора для ответвлений обмоток всех фаз.

Прн наличин выведенной нейтрали (нуля) измерение производится между фазовым выводом и нулевым. Измеренное лннейное значение сопротивления между линейными выводами пересчнтывается на фазовое:

соединение обмоток в звезду

$$R_ф = \frac{R_{изм}}{2}; \qquad \text{(IX. 3)}$$

соедннение обмоток в треугольник

$$R_ф = \frac{3}{2} R_{изм}, \qquad \text{(IX. 4)}$$

где $R_ф$ — приведенное фазовое сопротивленне; $R_{изм}$ — измеренное сопротивление между линейными выводами.

Измеренное сопротнвленне пересчитывают на температуру 75° С по формуле

$$R_{75} = R_t \left(\frac{310}{235 + t}\right), \qquad \text{(IX. 5)}$$

где R_t — сопротнвленне на фазу, нзмеренное прн температуре обмотки t.

За температуру обмотки t при измеренни для масляных трансформаторов (собранных) может быть принята установившаяся температура верхних слоев масла, для сухих трансформаторов и сердечников масляных трансформаторов, вынутых из масла, — температура окружающего воздуха, если трансформатор находился в данных условиях не меньше 12 *ч*.

Результаты измеренй счнтаются удовлетворительнымн, еслн фазовые значения сопротивлення одной и той же обмотки отличаются друг от друга н от данных заводских измерений не более чем на 2%.

Прн включении ток вследствие индуктивности обмотки достигает установнвшейся величнны не сразу, а за время от 20 *сек* до 1 *мин* и больше. Поэтому мнлливольтметр включают только после того, как установится стрелка амперметра.

Для облегчения подбора пределов шкалы приборов в табл. IX. 14 приведены значения сопротивления некоторых трансформаторов и рекомендуемые при измерении значения тока. Ориентировочно $\Delta U = IR$ дает ожидаемое падение напряжения, по которому и должны быть выбраны шкалы вольтметра.

Таблица IX.14

Значения сопротивлений трансформаторов и рекомендуемого при измерении тока

Мощность трансформатора, *ква*	Фазовое сопротивление, *ом*, в зависимости от напряжения обмоток, *кв*			Ток, *а*	Мощность трансформатора, *ква*	Фазовое сопротивление, *ом*, в зависимости от напряжения обмоток, *кв*			Ток, *а*
	10	6	3			0,4	0,23	0.133	
5	180	100	50	0,1	5	—	—	—	2,0
10	140	80	40	0,3	10	0,12	0,06	0,04	2,0
20	100	50	25	0,3	20	0,08	0,03	0,02	2.0
30	60	35	20	0,5	30	0,06	0,02	0,01	2,0
50	35	20	10	1,0	50	0,03	0,01	0,007	3,0
75	20	12	6	1,0	75	0,01	0,008	0,004	3,0
100	14	8	4	1,0	100	0,008	0,005	0,003	5.0
135	10	6	3	1,0	135	0,008	0,005	0,003	5,0
180	7	4	2	2,0	180	0,006	0,003	0,001	5,0
240	7	4	2	2,0	240	0,004	0,002	—	5,0
320	3	2	1	2,0	320	0,003	0,002	—	5.0

7. Проверка механизма переключателей трансформатора

Переключатель находится в правильном рабочем положении тогда, когда отверстия в колпаке совпадают с гнездами в крышке сальника для закрепляющих болтов, а стрелка колпака совпадает с цифрой на крышке сальника. Остановка механизма переключателя в промежуточном положении не допускается.

Правильность сборки и положения переключателя в соответствии с номинальными напряжениями (по ступеням) проверяется при измерении сопротивления обмоток постоянному току, а также при определении коэффициентов трансформации.

8. Опыт холостого хода трансформатора при номинальном напряжении

Во время приемо-сдаточных испытаний обязательно измерение тока холостого хода трансформатора мощностью более 1000 *ква* при номинальном напряжении. Ток холостого хода не нормируют, но сверяют с заводскими данными. Если величина тока значительно выше заводских данных, трансформатор неисправен.

Опыт холостого хода проводится после испытания электрической прочности изоляции обмоток, чтобы обнаружить возможные неисправности.

При опыте холостого хода к обмоткам НН подводят номинальное напряжение номинальной частоты. Подводимое напряжение $U_{подв}$ определяют как среднее арифметическое трех измерений линейных напряжений ($A'B'$, $A'C'$, $B'C'$) или фазовых напряжений, если

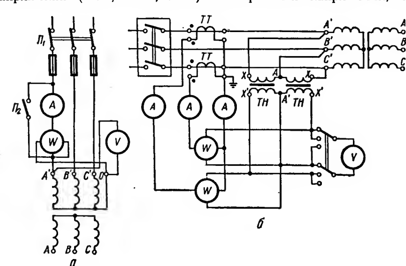


Рис. IX.6. Схемы включения приборов для снятия XXX трансформатора: *а* — трансформатор с выведенной нулевой точкой с непосредственным включением минимума приборов; *б* — приборы включены через ТТ и ТН, установленные для эксплуатации силового трансформатора (A — амперметр типа АСТ на 0-25-5*а*, амперметр прямого включения подбирается на ток, составляющий 10% $I_{ном}$, так как ток холостого хода составляет $I_0 = (2 - 10\%)\ I_{ном}$; V — вольтметр типа АСТВ на 0—150—300 *в* с переключателем; W — ваттметр однофазный).

обмотка ВН трансформатора имеет выведенную нулевую точку (рис. IX.6). Перед включением рубильника $П_1$ для шунтирования приборов включают рубильник $П_2$, чтобы избежать повреждения приборов от броска токов в момент включения.

Результаты измерения U, I и P записывают в таблицу. По данным измерений рассчитывают следующие величины:

$$U_{подв} = \frac{U_{A'} + U_{B'} + U_{C'}}{3} \sqrt{3}; \qquad (IX.6)$$

$$U_{подв} = \frac{U_{A'B'} + U_{A'C'} + U_{B'C'}}{3}; \qquad (IX.7)$$

$$I_0 = \frac{I_{A'} + I_{B'} + I_{C'}}{3};\qquad (XI.8)$$

$$P_0 = P_{A'} + P_{B'} + P_{C'}.\qquad (IX.9)$$

Потери трехфазного трансформатора определяют как алгебраическую сумму показаний двух ваттметров:

$$P_0 = C_w(a_1 \pm a_2),\qquad (IX.10)$$

где C_w — постоянная ваттметра;
a_1 и a_2 — показания ваттметров.

Величину тока холостого хода можно определить по номинальному току:
для однофазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_{изм}}{I_{ном}} 100\,[\%];\qquad (IX.11)$$

для трехфазных трансформаторов при номинальном напряжении

$$I_0 = \frac{I_{A'} + I_{B'} + I_{C'}}{3I_{ном}} 100\,[\%].\qquad (IX.12)$$

Современные трансформаторы имеют $I_0 = (2 - 10\%)\, I_{ном}$. Большее значение I_0 имеют трансформаторы малой мощности.

По данным измерений опыта холостого хода трансформатора, кроме I_0 и P_0, рассчитываются следующие величины:
коэффициент мощности трехфазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\, UI_0};\qquad (IX.13)$$

коэффициент мощности однофазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{UI_0};\qquad (IX.14)$$

полное фазовое сопротивление обмотки

$$Z_{оф} = \frac{U_ф}{I_{оф}}\,[ом];\qquad (IX.15)$$

активная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$R_{оф} = Z_{0ф} \cos\varphi_0\,[ом];\qquad (IX.16)$$

реактивная составляющая полного фазового сопротивления

$$X_{оф} = \sqrt{Z_{оф}^2 - R_{оф}^2} = Z_{оф} \sin\varphi_0\,[ом];\qquad (IX.17)$$

активная и реактивная составляющие тока холостого хода

$$I_{оа} = I_0 \cos \varphi_0; \quad (IX.18)$$

$$I_{ор} = I_0 \sin \varphi_0. \quad (IX.19)$$

Обычно

$$\frac{I_{оа}}{I_{ор}} \leqslant 0,1.$$

Потери холостого хода:
однофазного трансформатора

$$P_0 = P_{ст} + I_0^2 R_ф; \quad (IX.20)$$

трехфазного

$$P_0 = P_{ст} + 3I_0^2 R_ф, \quad (IX.21)$$

где $R_ф$ — фазовое сопротивление обмотки постоянному току; $P_{ст}$ — потери в стали; $I_0^2 R_ф$ и $3I_0^2 R_ф$ — потери в меди. Так как при холостом ходе потери в меди очень малы, можно принять

$$P_0 \simeq P_{ст}. \quad (IX.22)$$

Если испытание проводится при частоте f', отличной от номинальной $f_{ном}$ (но не более чем на $\pm 5\%$), подводимое при испытании напряжение

$$U_{подв} = U_{ном} \frac{f'}{f_{ном}}. \quad (IX.23)$$

Потери холостого хода при номинальной частоте находят по формуле

$$P_0 = P_0' \left(\frac{60}{f'} - 0,2\right), \quad (IX.24)$$

где P_0' — потери при частоте f'.

9. Измерение потерь холостого хода при малом напряжении

Измерение потерь с приведением их к номинальному напряжению (ГОСТ 3484—55)

Потери однофазных трансформаторов определяют по формулам § 8 с тем отличием, что величину подводимого напряжения выбирают равной 5—10% $U_{ном}$ возбуждаемой обмотки (рис. IX.7).

Сначала измеряют подводимое напряжение U' и суммарную мощность $P_{изм}$, потребляемую испытуемым трансформатором и изме-

Рис. IX.7. Схемы измерения суммарных потерь холостого хода однофазного трансформатора (*а*) и в приборах (*б*).

рительными приборами. Затем определяют потери мощности $P_{пр}$, потребляемой приборами (рис. IX.7, *б*).

Потери в трансформаторе при напряжении U'

$$P'_0 = P_{изм} - P_{пр}. \qquad (IX.25)$$

Потери трехфазных трансформаторов измеряют при трехфазном или при однофазном возбуждении (у трансформаторов обычного трехстержневого исполнения).

При трехфазном возбуждении потери измеряют согласно § 8 с тем отличием, что величину подводимого напряжения выбирают

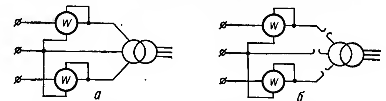


Рис. IX.8. Схемы измерения суммарных потерь холостого хода трехфазного трансформатора (*а*) и в приборах (*б*).

равной 5—10% $U_{ном}$ возбуждаемой обмотки. Измерения производят двумя однофазными ваттметрами (рис. IX. 8, *а*) или одним трехфазным.

Потери в трансформаторе P'_0 определяют как разность измеренных суммарных потерь $P_{изм}$ и потерь в приборах $P_{пр}$. Последние рекомендуется определять путем измерения их по схеме, приведенной на рис. IX.8, *б*. Для измерения потерь при однофазном возбуждении проводят три опыта с приведением трехфазного трансформатора к однофазному путем поочередного замыкания накоротко одной из его фаз и возбуждения двух других (рис. IX.9).

Первый опыт — замыкают накоротко обмотку фазы A, возбуждают фазы B и C трансформатора и измеряют потери. Второй опыт — замыкают накоротко обмотку фазы B, возбуждают фазы A и C трансформатора и измеряют потери. Третий опыт — замыкают накоротко обмотку фазы C, возбуждают фазы A и B трансформатора и измеряют потери.

Обмотки фаз замыкают накоротко на соответствующих выводах обмоток трансформатора (высшего, среднего или низшего напряжения). При этом руководствуются действительной схемой соединения обмоток трансформатора.

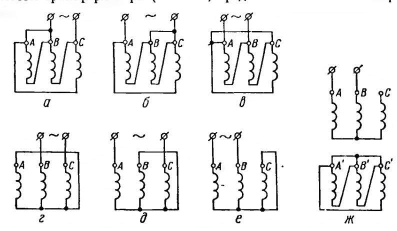


Рис. IX.9. Схемы однофазного питания трехфазного трансформатора: *а*, *б*, *в* — при соединении его первичной обмотки в треугольник; *г*, *д*, *е* — при соединении его первичной обмотки в звезду с выведенным нулем; *ж* — при соединении его первичной обмотки в звезду и отсутствии выведенной нулевой точки, т. е. если нельзя замкнуть накоротко соответствующую фазу, закорачивают фазу на вторичной обмотке.

Потери трансформатора при напряжении U'

$$P'_0 = \frac{P'_{0AB} + P'_{0BC} + P'_{0AC}}{2}, \qquad (IX.26)$$

где P'_{0AB}, P'_{0BC}, P'_{0AC} — потери, определенные при указанных выше опытах (за вычетом потерь в приборах) при одинаковом значении подводимого напряжения.

При отсутствии дефектов в трансформаторе имеют место следующие приближенные соотношения между значениями фазовых потерь: потери, измеренные при закорачивании обмотки каждой крайней фазы (A или C), практически одинаковы, а потери, изме-

ренные при закорачивании обмотки средней фазы (B), как правило, не меньше чем на 35% больше потерь, измеренных при закорачивании обмоток одной из крайних фаз (A и C).

Приведение потерь к номинальному напряжению. Потери холостого хода $P_{0прив.}$, соответствующие $U_{ном}$, определяют путем приведения потерь, измеренных при малом напряжении U', по формуле

$$P_{0прив} = P'_0 \left(\frac{U_{ном}}{U'}\right)^n, \qquad (IX.27)$$

где n — показатель степени, зависящий от сорта трансформаторной стали. Обычно n имеет следующие приближенные значения (при возбуждении трансформатора напряжением 5—10% $U_{ном}$): для горячекатаной трансформаторной стали — 1,8, для холоднокатаной высокопроницаемой трансформаторной стали — 1,9.

Значение n может быть определено также из выражения

$$n = \frac{\lg \frac{P_0}{P'_0}}{\lg \frac{U_{ном}}{U'}}, \qquad (IX.28)$$

где P_0 — потери холостого хода, соответствующие номинальным условиям (по данным заводских испытаний); P'_0 — потери холостого хода, измеренные при одном из значений подводимого напряжения в пределах 5—10% $U_{ном}$ (при заведомо исправном состоянии трансформатора).

Примечания. 1. В случае соединения возбуждаемой обмотки в звезду потери, измеренные при однофазном возбуждении трехфазного трансформатора, приводят к номинальному напряжению по формуле

$$P_{0прив} = P'_0 \left(\frac{U_{ном}}{\frac{\sqrt{3}\, U'_{ном}}{2}}\right)^n, \qquad (IX.29)$$

где U' — напряжение, подводимое при испытании.

2. Если потери трехфазного трансформатора (три опыта при однофазном возбуждении) измерены не при одинаковых значениях U', измеренные потери сначала (в отдельности) приводят к номинальному напряжению, после чего полные потери $P_{0прив}$ определяют как их полусумму.

Измерение потерь без приведения их к номинальному напряжению (метод сравнения)

Потери однофазных трансформаторов измеряют так, как описано выше, с тем отличием, что величина подводимого напряжения в пределах 1—5% $U_{ном}$ возбуждаемой обмотки может быть выбрана любой, сообразно с удобствами и возможностями измерений (например, 220—380 *в*).

Потери трехфазных трансформаторов. Для их определения проводят три опыта, приведя трехфазный трансформатор к условному однофазному путем поочередного подведения однофазного напряжения к обмоткам одной или двух его фаз при разомкнутых остальных обмотках. При проведении опытов руководствуются данными табл. IX.15 и действительной схемой соединения обмоток. Величина подводимого напряжения при всех трех опытах должна быть одинаковой.

Таблица IX.15

Порядок подведения напряжения к выводам трансформатора

Схема соединения возбуждаемой обмотки	№ опыта	Фаза (фазы) возбуждаемой обмотки, к выводам которой подводят напряжение
Звезда с доступной нейтралью или треугольник	1	*A*
	2	*B*
	3	*C*
Звезда без доступной нейтрали	1	*A — B*
	2	*B — C*
	3	*A — C*

Если в трансформаторе (обычно трехстержневого исполнения) отсутствуют дефекты, приближенные соотношения между значениями фазовых потерь будут следующими.

1. В схеме соединения возбуждаемой обмотки в звезду или в треугольник потери, измеренные при подведении питания к выводам обмоток каждой крайней фазы (*A* или *C*), практически одинаковы и, как правило, не меньше чем на 25% больше потерь, измеренных при подведении питания к выводам обмотки средней фазы (*B*).

2. В схеме соединения возбуждаемой обмотки в звезду (без доступной нейтрали) потери, измеренные при подведении питания к выводам пары фаз из средней и из каждой крайней фазы, практически одинаковы, а потери, измеренные при подведении питания к выводам обмоток пары двух крайних фаз, как правило, не меньше чем на 25% больше потерь, измеренных при подведении питания к выводам обмоток любой пары, состоящей из средней и крайней фаз.

Примечание. Если измеряют потери у нескольких одинаковых трансформаторов (из одинаковой трансформаторной стали и при одинаковой величине подводимого напряжения), то принимают во внимание, что у сравниваемых трансформаторов (одно- или трехфазных) одинаковым значениям потерь холостого хода

при номннальном напряженин (указанных заводом-изготовителем) должны соответствовать приблизнтельно одинаковые значения потерь при малом напряженнн. Кроме того, у однинаковых трансформаторов значеиня соответствующих фазовых потерь должны быть приблизительно равными.

10. Проверка последовательности действия контактов переключателя (снятие круговой диаграммы)

Круговую диаграмму переключателей без контакторов н с контакторами можно сннмать следующнмн методамн: методом сигнальных ламп н методом осцнллографа.

Метод сигнальных ламп для переключателей, не имеющих контакторов

При этом методе к свободиому концу вала переключателя прикрепляют диск со шкалой углов, разделенной на 360 частей (через 1°), а для отсчета углов поворота вала иа иеподвнжной частн переключателя закрепляют указательную стрелку. Схему собнрают согласно рис. IX.10 (показана для одной фазы).

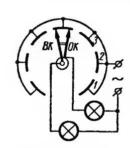


Рис. IX.10. Схема включення сигнальных ламп для проверки последовательиости срабатывання контактов переключателя:

ОК и *ВК* — подвижные контакты; *1—3* — неподвижные контакты

Вместо диска, разграфленного на градусы, который крепят на вертнкальном валу прнводного механнзма, для облегчення проверкн можно нспользовать передаточную конусную шестерню у штурвала, нмеющую 60 зубьев, т. е. 3° на одно полуделенне зуба.

Перед снятнем круговой днаграммы переключателя, установленного на трансформаторе, провода, идущие от переключателя к его реактору, отсоедняют.

Круговую днаграмму прн этом методе снимают следующим образом. Переключатель ставят в первое положенне и включают пнтанне снгнальных ламп. Когда загораются лампы основных контактов (ОК), лампы вспомогательных контактов (ВК) могут не гореть, но онн должны загораться вскоре после начала вращення вала переключателя до погасання ламп ОК.

По шкале углов отсчнтывают начальное (в первом положенин переключателя) значенне угла, после чего медленно вращают вал переключателя до размыкання ОК, что сигналнзнруется погасаннем соответствующнх ламп (лампы могут гаснуть неодновременно). Углы, при которых гаснут лампы, должны быть зафиксированы.

Затем продолжают вращать вал переключателя до зажигания ламп ОК. При дальнейшем вращении вала переключателя гасиут лампы ВК. Когда вал переключателя доводят до второго положения, лампы ВК, так же как и в первом положении переключателя могут не гореть.

Таким образом продолжают снимать круговую диаграмму до крайнего положения переключателя, а затем снимают ее, вращая вал переключателя в обратную сторону, от последнего положения к первому. При этом фиксируют углы поворота вала переключателя α, при которых гасиут и загораются лампы, а также углы, соответствующие нормальным положениям переключателя. На основании полученных данных строят круговую диаграмму (рис. IX.11).

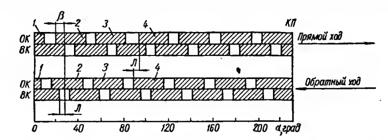


Рис. IX.11. Схема развернутой круговой диаграммы одной фазы переключателя:

1—4 — нормальное рабочее положение переключателя; *КП* — конечное положение переключателя; *ОК* и *ВК* — основной и вспомогательный подвижные контакты; *Л* — люфт (штриховкой обозначен замкнутый контакт).

По диаграмме определяют величину перекрытия, т. е. положение моста переключателя в градусах. Переключатель признают годным для эксплуатации тогда, когда во всех положениях величина перекрытия $\beta \geqslant 3°$. Если на какой-нибудь фазе β моста будет меньше 3°, необходимо проверить правильность снятия показаний, так как при съемке могла быть допущена ошибка. В случае необходимости подвижные контакты следует заменить и вновь снять круговую диаграмму.

По величине участков диаграммы «вперед» и «назад» для одной и той же ступени можно судить о надежности крепления держателей подвижных контактов на валу переключателя. Последнее может не иметь место, если величина люфта велика и участок «вперед» значительно отличается от обратного участка «назад».

Метод сигнальных ламп для переключателей, имеющих контакторы

При этом методе шкалу углов, разделенную на 360° (через 1°), устанавливают так, чтобы вал между приводным механизмом переключателя и контактором проходил через центр шкалы углов. На этом валу закрепляют указательную стрелку. Шкалу углов устанавливают так, чтобы стрелка показывала нуль. В дальнейшем положение шкалы не меняют. Затем собирают схему, как указано на рис. IX.12.

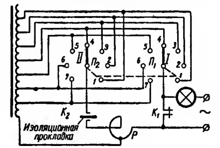


Рис. IX.12. Схема для снятия круговой диаграммы (для одной фазы) методом сигнальных ламп для переключателей, имеющих контакторы:

K_1 и K_2 — контакторы; P — реактор; 1—7 — неподвижные контакты; I и II — подвижные контакты.

Переключатель $П_1$ устанавливают в одно из нормальных положений. Для исключения влияния люфтов предварительно вращают рукоятку приводного механизма переключателя в ту же сторону, в какую будут вращать рукоятку при снятии круговой диаграммы.

Круговую диаграмму снимают при одном полном обороте вала (соединяющего приводной механизм с переключателем) независимо от того, происходит ли за время этого оборота одно или два

Рис. IX.13. Схема участка развернутой круговой диаграммы (одной фазы) для переключателей, оборудованных контакторами:

X — одно из рабочих положений; $X+1$ — положение следующей ступени β — смещение между замкнутыми контактами контактора и переключателя (штриховкой обозначен замкнутый контакт)

переключения. После включения питания схемы начинают медленно вращать рукоятку приводного механизма переключателя. Размыкание контактов контактора K_1 определяют по освобождению зажатого между контактами щупа толщиной 0,1—0,2 *мм* или по уменьшению

накала лампы и фиксируют показания по шкале углов. Размыкание переключателя $П_1$ отмечают по погасанию лампы. Если лампа не гаснет, значит неправильно смонтировано переключающее устройство. При дальнейшем вращении рукоятки фиксируют замыкание контактов того же переключателя и контактора в следующем положении.

После поворота вала на 180° рукоятку поворачивают немного дальше (для снятия люфтов), а затем при вращении рукоятки в обратном направлении снимают круговую диаграмму. Такие измерения производят на каждой фазе.

Указанные операции повторяют на другой половине переключающего устройства. Для этого лампу присоединяют к контактору K_2, а изоляционную прокладку из контактора K_2 переставляют в контактор K_1.

По данным измерений строят развернутую круговую диаграмму (рис. IX. 13).

Метод осциллографа для переключателей, не имеющих контакторов

Этот метод предусматривает снятие круговой диаграммы при помощи шлейфового осциллографа (см. рис. IX. 10); вместо сигнальных ламп включают вибраторы. Размыкание и замыкание контактов переключателя фиксируется вибраторами осциллографа на пленке или бумаге. Для отсчета углов поворота вала переключателя включают дополнительный вибратор осциллографа B по схеме, приведенной на рис. IX.14.

Вибратор B может быть включен на любой шестерне $Ш$, установленной непосредственно на валу переключателя или связанной с валом переключателя зубчатой передачей. При вращении вала переключателя зубцы шестерни будут замыкать щеточный контакт K, обеспечивая подачу импульсов тока через дополнительный вибратор осциллографа и регистрацию углов поворота вала переключателя.

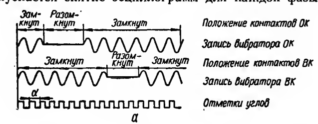
Рис. IX.14. Схема включения для проверки последовательности срабатывания контактов переключателя и отсчета углов α при пользовании осциллографом механизма переключателя.

Угол, соответствующий расстоянию между двумя соседними отметками углов на рис. IX. 15, *а*, определяют по формуле

$$\alpha = \frac{360}{Z} \cdot \frac{n_ш}{n_п} [град], \qquad (IX.30)$$

где Z — число зубцов шестерни; $n_ш$ — число оборотов шестерни, в минуту; $n_п$ — число оборотов переключателя, в минуту.

Для снятия осциллограмм переключатель ставят в одно из крайних положений, затем одновременно включают двигатель механизма привода переключателя и запускают осциллограф. Осциллограммы снимают для обоих направлений вращений вала переключателя. Допускается снятие осциллограмм для каждой фазы в отдельности.



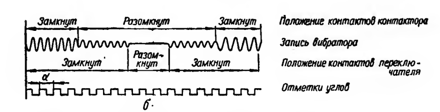


Рис. IX.15. Осциллограммы для построения развернутой круговой диаграммы:

а — для одной фазы и одного направления вращения переключателей; *б* — для одной половины переключателя и одного направления вращения.

По снятым осциллограммам (рис. IX.15, *а*) для одной фазы и одного направления вращения переключателя строят развернутую круговую диаграмму (см. рис. IX.11).

Метод осциллографа для переключателей, имеющих контакторы

При этом методе круговую диаграмму снимают шлейфовым осциллографом, используя схему на рис. IX.12; вместо сигнальной лампы включают вибратор осциллографа.

Для отсчета углов используют устройство, схема которого показана на рис. IX.14.

Переключатель вращают при помощи двигателя и одновременно запускают осциллограф. Для каждой фазы снимают четыре осциллограммы: 1) для левой половины переключателя при вращении двигателя в одну сторону; 2) то же, но при вращении двигателя в дру-

гую сторону; 3) для правой половины переключателя при вращении двигателя в одну сторону; 4) то же, но при вращении двигателя в другую сторону. По снятым осциллограммам (рис. IX.15, *б*) для одной фазы, одной половины переключателя и одного направления вращения строят развернутую круговую диаграмму (см. рис. IX.13).

Снятие круговых диаграмм переключателей отдельно от трансформаторов производят указанными выше методами (метод сигнальных ламп и метод осциллографа для переключателей, имеющих контакторы), но с изменением схемы испытаний (соединение соответствующих выводов переключателей, установка дополнительных сопротивлений или ламп и т. п.).

Переключатель (переключающее устройство) считается выдержавшим испытания, если величины перекрытия контактов (см. рис. IX.11), а также угла β (см. рис. IX.13) и люфтов не выходят за допустимые пределы.

11. Определение параметров трансформатора

Коэффициент трансформации

Коэффициент трансформации трансформатора определяют на всех ответвлениях обмотки для проверки целости обмоток и правильности установки переключателя (рис. IX.16).

Для измерения коэффициента трансформации может быть применен один из следующих способов.

1. Обмотку ВН включают в сеть НН, после чего измеряют напряжение на выводах обмоток ВН и НН.

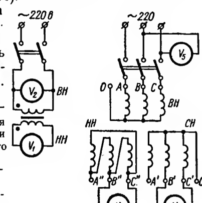


Рис. IX.16. Схемы включения приборов для определения коэффициента трансформации однофазного трансформатора и трехфазного трехобмоточного

Обмотку НН включают на напряжение, значительно более низкое, чем напряжение низковольтной обмотки. На стороне НН напряжение измеряют при непосредственном включении вольтметра на выводы НН, а на стороне ВН — через измерительный ТН.

Коэффициент трансформации следует определять при напряжении 2—10% $U_{ном}$ обмоток ВН. При определении коэффициента транс-

формации по фазовым и межфазовым напряжениям величина его не должна отличаться от номинального значения больше чем на 0,5%. Контрольные вольтметры и трансформаторы напряжения должны быть класса 0,2 или 0,5.

Среднее значение коэффициента трансформации

$$K_т = \frac{K_A + K_B + K_C}{3}, \qquad (IX.31)$$

где

$$K_A = \frac{U_{AB}}{U_{A'B'}}; \quad K_B = \frac{U_{BC}}{U_{B'C'}}; \quad K_C = \frac{U_{CA}}{U_{C'A'}}. \qquad (IX.32)$$

Определение числа витков обмотки трансформатора

Поверх катушки одной из фаз обмоток трансформатора наматывают изолированным проводом диаметром 0,75 или 1 *мм* произвольное число временных витков $w_{вр}$.

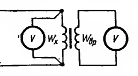


Рис. IX.17. Схема для определения числа витков обмотки трансформатора.

На катушку обмотки трансформатора, число витков которой w_x необходимо определить, подают напряжение U_1. Обозначив напряжение временной обмотки $U_{вр}$, найдем искомое число витков

$$w_x = w_{вр} \frac{U_1}{U_{вр}}. \qquad (IX.33)$$

Обычно временную обмотку используют в качестве вторичной; для безопасности один конец ее, идущий к вольтметру, заземляют (рис. IX.17).

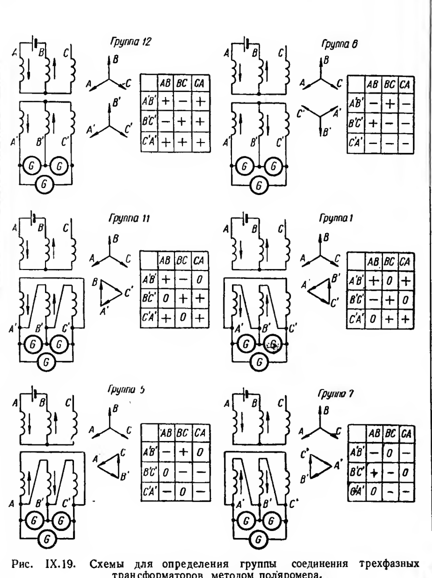
Определение группы соединений обмоток трансформатора

Группу соединений обмоток трансформатора можно определить такими методами: 1) методом поляромера; 2) методом вольтметра.

Метод поляромера. Проверка группы соединений однофазных трансформаторов методом поляромера заключается в следующем.

Рис. IX.18. Схема для проверки группы соединения однофазного трансформатора методом поляромера.

В обмотку НН трансформатора включают милливольтметр (с нулем по середине шкалы), в обмотку ВН подают постоянный ток от батареи 2—4 *в* (рис. IX.18). В момент включения цепи трансформатора



Группа 12

	AB	BC	CA
A'B'	+	−	+
B'C'	−	+	+
C'A'	+	+	+

Группа 6

	AB	BC	CA
A'B'	−	+	−
B'C'	+	−	−
C'A'	−	−	−

Группа 11

	AB	BC	CA
A'B'	+	−	0
B'C'	0	+	+
C'A'	+	0	+

Группа 1

	AB	BC	CA
A'B'	+	0	+
B'C'	−	+	0
C'A'	0	+	+

Группа 5

	AB	BC	CA
A'B'	−	+	0
B'C'	0	−	−
C'A'	−	0	−

Группа 7

	AB	BC	CA
A'B'	−	0	−
B'C'	+	−	0
C'A'	0	−	−

Рис. IX.19. Схемы для определения группы соединения трехфазных трансформаторов методом поляромера.

группы соединений 12 стрелка прибора отклонится вправо, при отключении — влево. Для группы 6 отклонения стрелки гальванометра будут противоположными.

Группа соединений трехфазных трансформаторов проверяется так (рис. IX.19). К зажимам AB обмотки ВН через прерыватель под-

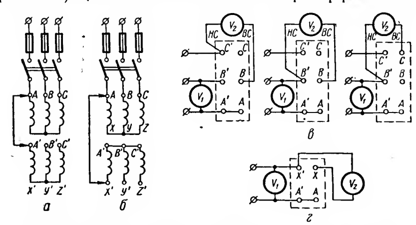


Рис. IX.20. Схемы соединений для определения группы трансформатора методом вольтметра:

а — группа 12; *б* — группа 6; *в* — трехфазные трансформаторы; *г* — однофазные трансформаторы.

водят постоянный ток от батареи 2—4 *в*, а к зажимам вторичной обмотки ($A'B'$, $B'C'$ и $A'C'$) попеременно присоединяют милливольтметр и записывают знак отклонения прибора, «+» или «—». Опыт повторяют, подключая батареи к зажимам BC и AC. Результаты измерения записывают в таблицу.

Отклонение стрелки вправо при включении тока и влево при отключении обозначают знаком «+», противоположные отклонения — знаком «—».

Рис. IX.21. Векторные диаграммы:

а — группа 12; *б* — группа 6.

Метод вольтметра. Одноименные зажимы обмоток ВН и НН (например, A и A') соединяют друг с другом перемычкой (рис. IX.20— и IX.23). К обмотке ВН подводят пониженное напряжение, как и в случае проверки коэффициента трансформации, и измеряют поочередно напряжение между свободными зажимами $B'B$, $B'C$ и $C'B$.

Измеренные напряжения $U_{B'B}$, $U_{B'C}$ и $U_{C'B}$ сравнивают со значениями, вычисленными по формулам табл. IX.16, где U_2 — линейное напряжение на зажимах обмотки НН (вторичной) при данном испытании; $K_л$ — линейный коэффициент трансформации.

У однофазных трансформаторов соединяют зажимы A и A' и измеряют напряжение между зажимами X и X'. Если измеренное напряжение $U = U_2(K_л - 1)$, группа соединений 12, если же $U = U_2\ (K + 1)$, то 6. Класс точности вольтметра должен быть не ниже 0,5.

Для больших значений коэффициента трансформации применение этого метода затруднительно, ввиду того, что уменьшается разница между значениями коэффициента. Так, при $K_л = 30$ наименьший табличный коэффициент $K_л - 1 = 29$, а наибольший $K_л + 1 = 31$ (табл. IX.16). Проверка группы соединений фазометром осуществляется следующим способом.

Рис. IX.22. Схемы соединений для определения группы трансформатора методом вольтметра:
а — группа 11; *б* — группа 5

К одной из обмоток трансформатора подводят пониженное напряжение. Если обмотку напряжения фазометра включить на линейное напряжение обмотки НН, а токовую обмотку—через реостат на линейное напряжение обмотки ВН, фазометр покажет угол сдвига между векторами обмоток трансформатора, т. е. непосредственно группу соединений обмоток (рис. IX.24). Обмотку напряжения фазометра включают непосредственно или через трансформатор напряжения.

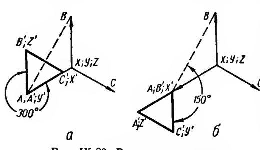


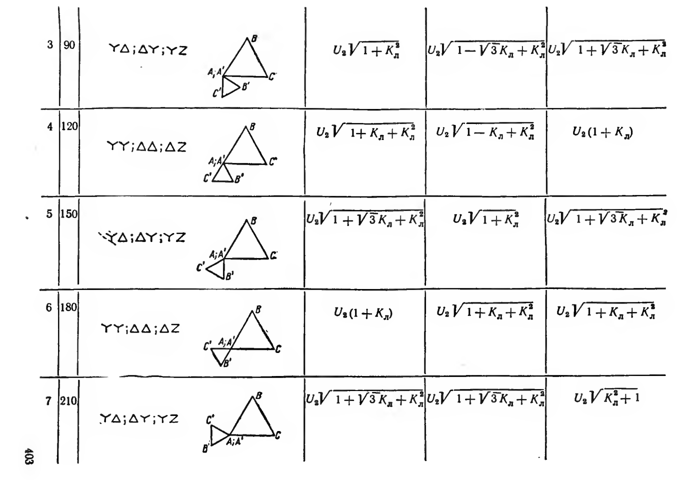
Рис. IX.23. Векторные диаграммы:
а — группа 11; *б* — группа 5.

Проверку удобно осуществлять при пониженном напряжении однофазным четырехквадратным фазометром, шкала которого градуируется по циферблату часов. Фазометр должен быть проверен по соответствию группы соединений на трансформаторе заведомо известной группе.

Таблица IX. 16

Схемы и формулы для определения напряжения обмоток трансформаторов

Группа соединений	Угловое смещение э. д. с., *град*	Возможное соединение обмоток и векторная диаграмма линейных э. д. с.	$U_{B'B}$	$U_{B'C'}$	$U_{C'B}$
12	0	YY; ΔΔ; ΔZ	$U_2(K_{л}-1)$	$U_2\sqrt{1-K_{л}+K_{л}^2}$	$U_2\sqrt{1-K_{л}+K_{л}^2}$
1	30	YΔ; ΔY; YZ	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_{л}+K_{л}^2}$	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_{л}+K_{л}^2}$	$U_2\sqrt{1+K_{л}^2}$
2	60	YY; ΔΔ; ΔZ	$U_2\sqrt{1-K_{л}+K_{л}^2}$	$U_2(K_{л}-1)$	$U_2\sqrt{1+K_{л}+K_{л}^2}$



3	90	Y∆; ∆Y; YZ	B, C, A; A', B', C'	$U_2\sqrt{1+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$
4	120	YY; ∆∆; ∆Z	B, C, A; A', C', B'	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1-K_л+K_л^2}$	$U_2(1+K_л)$
5	150	Y∆; ∆Y; YZ	B, C, A; A', C', B'	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$
6	180	YY; ∆∆; ∆Z	B, C, A; A', C', B'	$U_2(1+K_л)$	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$
7	210	Y∆; ∆Y; YZ	B, C, C', B', A; A'	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{K_л^2+1}$

Группа соединений	Угловое смещение э. д. с., *град*	Возможное соединение обмоток и векторная диаграмма линейных э. д. с.	$U_{B'B}$	$U_{B'C'}$	$U_{C'B}$
8	240	YY; ΔΔ; ΔZ (B; C; C'; B'; A; A')	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$	$U_2(1+K_л)$	$U_2\sqrt{1-K_л+K_л^2}$
9	270	YΔ; ΔY; YZ (B; C'; B'; C; A; A')	$U_2\sqrt{1+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$
10	300	YY; ΔΔ; ΔZ (B; B'; C'; C; A; A')	$U_2\sqrt{1-K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+K_л+K_л^2}$	$U_2(K_л-1)$
11	330	YΔ; ΔY; YZ (B; B'; C'; A; A'; C)	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1+K_л^2}$	$U_2\sqrt{1-\sqrt{3}K_л+K_л^2}$

Во избежаиие ошибок группу соединеиий следует определить еще раз, выбрав другую пару зажимов (например, $AB - A'B'$ и $AC - A'C'$); при этом оба измереиия должны дать одииаковые показания,

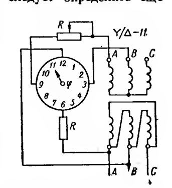


Рис. IX.24. Схема для проверки группы соединений фазометром (прямой метод).

12. Опыт короткого замыкания трансформатора

Опыт короткого замыкаиия проводят по схеме, приведеииой иа рис. IX.25. При этом обычио одиу из вторичиых обмоток закорачивают, а к первичиой обмотке подводят такое иапряжеиие, при котором как в первичиой, так и вторичиой обмотках, устаиавливается номиальиый ток траисформатора:

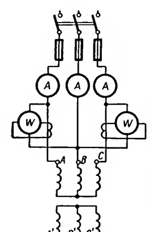


Рис. IX.25. Схема опыта к. з. трехфазного трансформатора.

$$u_к = \frac{U_к}{U_{ном}} 100\,[\%], \qquad (IX.34)$$

$$U_к = \frac{u_к U_{ном}}{100}\,[в], \qquad (IX.35)$$

где $U_к$ — напряжение к. з., $в$; $U_{ном}$ — иомииальиое напряжеиие; $u_к$ — напряжеиие к. з., %. Обычио $u_к$ иаходится в пределах 3—15% $U_{ном}$.

В производствеиных условиях пользуются напряжеиием электросети (220; 380; 500; 6000 и 10000 $в$), которое подводят к первичиой обмотке как иапряжеиие к. з., вызывающее в обмотках ток от 25 до 100% $I_{ном}$.

Замыкать обмотку иакоротко следует коротким толстым проводом. Сечеиие перемычки

$$S = 2\frac{I_{ном}}{\delta}\,[мм^2], \qquad (IX.36)$$

где $I_{ном}$ — иомииальный ток траисформатора; δ — длительио допустимая плотиость тока, $а/мм^2$ (для меди $\delta = 2{,}5$, для алюминия $\delta = 1{,}5$ $а/мм^2$).

При опыте к. з. определяют такие величины:

$$I_к = \frac{I_A + I_B + I_C}{3};\qquad (IX.37)$$

$$U_к = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3};\qquad (IX.38)$$

$$P_к = P_{Iк} + P_{IIк},\qquad (IX.39)$$

где

$$P_{Iк} = a_1 C_{вт} K_{TT} K_{TH};\qquad (IX.40)$$

$$P_{IIк} = a_2 C_{вт} K_{TT} K_{TH}.\qquad (IX.41)$$

Если при опыте напряжение подавалось от сети без регулировки и ток к. з. не был равен номинальному, данные опыта приводят к номинальному току:

$$U_к = U'_к \frac{I_{ном}}{I'_к};\qquad (IX.42)$$

$$P_к = P'_к \left(\frac{I_{ном}}{I'_к}\right)^2,\qquad (IX.43)$$

где $I'_к$, $U'_к$ и $P'_к$ — соответственно ток, напряжение и мощность к. з. при токе $I'_к$, отличающемся от $I_{ном}$.

Напряжение к. з.

$$u_к = \frac{U'_к I_{ном}}{U_{ном} I'_к} 100\,[\%].\qquad (IX.44)$$

По данным опыта для трехфазного трансформатора находят: полное приведенное сопротивление обмоток трансформатора

$$Z_к = \frac{U_к}{\sqrt{3} I_{ном}}\,[ом];\qquad (IX.45)$$

сумму приведенных активных сопротивлений обмоток

$$R_к = \frac{P_к}{3 I^2_{ном}}\,[ом];\qquad (IX.46)$$

сумму приведенных реактивных сопротивлений обмоток

$$X_к = \sqrt{Z^2_к - R^2_к}\,[ом];\qquad (IX.47)$$

коэффициент мощности при к. з.

$$\cos\varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3} U_к I_{ном}}.\qquad (IX.48)$$

Практическн опыт к. з. проводят для траисформаторов в холодиом состояиии. В связи с этим результаты опыта приводят к условиой температуре 75° С:

$$R_{к\,75} = R_к[1 + \alpha(75 - t)]; \quad (IX.49)$$

$$Z_{к\,75} = \sqrt{R_{к\,75}^2 + X_к^2}, \quad (IX.50)$$

где t — температура окружающей среды во время опыта, °С; α — температурный коэффициеит.

Потери мощности $P_м$ и напряжение к. з. $u_к$, прнведениые к температуре 75° С, рассчнтывают по формулам

$$P_{м\,75} = P_{мt}\frac{310}{235}; \quad (IX.51)$$

$$u_{к\,75} = \sqrt{u_{кt}^2 + \left(\frac{P_{мt}}{10\,P_{ном}}\right)^2\left[\left(\frac{310}{235+t}\right)^2 - 1\right]}, \quad (IX.52)$$

где $u_{к\,75}$ — напряжеине к. з. прн температуре 75° С и $I_{ном}$, %; $P_{м\,75}$ — потери мощности к. з. прн температуре 75° С н $I_{ном}$; $u_{кt}$ — напряжеиие к. з. (при температуре t и $I_{нсм}$), %; t — температура обмоток во время опыта (верхиих слоев масла), °С; $P_{ном}$ — иомииальная мощность траисформатора, *ква*.

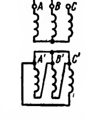


Рис. IX.26. Схема пофазного опыта к. з. трехфазного трансформатора.

У трехобмоточных трансформаторов опыт к. з. проводят между каждой парой обмоток; обмотка, не участвующая в опыте, остается разомкиутой.

Напряжеиие к. з. относят к обмотке большей мощиости, а потери мощности — к номииальной мощности наименее мощиой из двух обмоток, участвующих в опыте.

Приборы должиы иметь класс точностн не нниже 0,5. При опыте к. з. допускается нспользовать постояиио установленные для эксплуатацин ТТ и ТН.

По увеличенным потерям $P_к$ могут быть обиаружеиы такие дефекты, как намотка катушек из провода ие того сечеиия, которое предусмотреио расчетом, обрыв одной нз параллельиых ветвей обмоткн и др.

Дефектиую фазу можио обиаружить при трех пофазиых опытах к. з.: обмотку НН замыкают накоротко, а иапряжеиие подают поочередио на зажимы ВН — *AB*, *BC* и *AC* (рис. IX. 26). Измереииые потери представляют собой потери двух фаз трансформатора. При отсутствии дефектов все трн опыта должиы дать одинаковые результаты. Дефектиая фаза, обиаруживаемая при двух опытах, дает большие потери, чем третий опыт, в котором дефектиая фаза не участвует.

Определение напряжения и потерь мощности к. з. не предусматривается эксплуатационными нормами. Их определяют в случае отсутствия паспортных данных трансформатора и после ремонтов.

Пример. Определить величину $U_к$ трансформатора со следующими паспортными данными: $S_{ном} = 1000$ *ква*; $U_{ном} = 10500 - 10000 - 9500/400$ *в*: $I_{ном} = 58/1450$ *а*. По каталогу для трансформатора с подобными данными $u_к = 5{,}5\%$.

Находим величину напряжения, подводимого к первичной обмотке при замкнутой накоротко вторичной обмотке:

$$U_к = \frac{5{,}5 \cdot 10000}{100} = 550 \ в.$$

При опыте напряжение, подключаемое к первичной обмотке, равно 380 *в*.

По показаниям амперметров величина токов в фазах оказалась равной: фаза A — 51,8 *а*; фаза B — 51,5, фаза C — 51,7 *а*.

Среднее значение тока

$$I_{ср} = \frac{51{,}8 + 51{,}5 + 51{,}7}{3} = 51{,}7 \ а.$$

Напряжение к. з., приведенное к номинальному току при 18° С (температура проведения опыта):

$$u_{кt} = \frac{380 \cdot 58}{10000 \cdot 51{,}7} 100 = 4{,}26\%.$$

Потери мощности к. з. по показаниям ваттметров равны 11000 *вт*.

Потери к. з., приведенные к номинальному току:

$$P_к = 11000 \left(\frac{58}{51{,}7}\right)^2 = 13850 \ вт,$$

приведенные к температуре 75° С:

$$P_{м\,75} = 13850 \frac{310}{235+18} = 13850 \cdot 1{,}2252 = 16950 \ вт.$$

Напряжение к. з., приведенное к температуре 75° С:

$$U_{к\,75} = \sqrt{4{,}26^2 + \left(\frac{13850}{10 \cdot 1000}\right)^2 [(1{,}2252)^2 - 1]} = 4{,}39\%.$$

13. Испытание и наладка газовой защиты

После монтажа или в эксплуатационных условиях работу реле газовой защиты проверяют следующим образом. В реле при помощи велосипедного или автомобильного насоса накачивают воздух через нижний краник реле, а при его отсутствии — через верхний. При плавном медленном нагнетании воздуха должен замкнуться верхний контакт и включить сигнал (звонок или сирену). Затем, при быстром нагнетании должен замкнуться нижний контакт, отключающий выключатель трансформатора.

На больших трансформаторах иногда не удается добиться работы газовой защиты на отключение из-за недостаточной мощности воздушного насоса. В этих случаях следует закрыть кран на маслопроводе от трансформатора к расширителю и продолжать нагнетать воздух.

Для обеспечения быстрого прохождения газов к реле и правильной работы газовой защиты (газового реле) крышка трансформатора со стороны расширителя должна быть поднята с уклоном 1—1,5% (для этого под каток трансформатора подкладывается прокладка); подъем маслопровода от бака трансформатора к газовому реле должен составлять 2—4%.

Верхняя часть выхлопной трубы должна сообщаться с атмосферой или с пространством над маслом в расширителе, иначе возможна ложная работа газовой защиты при внезапных повышениях или понижениях уровня масла.

14. Параллельная работа трансформаторов

Для обеспечения нормальной параллельной работы трансформаторов необходимо соблюдение следующих условий: а) тождественность групп соединений обмоток; б) равенство в пределах допусков коэффициентов трансформации линейных напряжений при холостом ходе (см. табл. IX.2); в) равенство в пределах допусков напряжений к. з. (см. табл. IX.2). Кроме того, ГОСТ 401—41 рекомендует, чтобы отношение мощностей параллельно работающих трансформаторов не превышало 3 : 1.

Включение трансформаторов на параллельную работу допустимо только после предварительной фазировки.

Параллельная работа трансформаторов с неодинаковыми коэффициентами трансформации

При неодинаковых значениях коэффициента трансформации вторичные напряжения трансформаторов не равны друг другу и между ними в замкнутом контуре вторичной обмотки и контуре первичной обмотки уже при холостом ходе будут протекать уравнительные токи, обусловленные разностью вторичных напряжений трансформатора.

Величина уравнительного тока

$$I_у = \frac{U_1 - U_2}{Z_{кI} + Z_{к2}}, \qquad (IX.53)$$

где $U_1 - U_2$ — разность вторичных напряжений; $Z_{кI}$ и $Z_{к2}$ — сопротивления трансформаторов.

Параллельная работа трансформаторов с неодинаковым напряжением короткого замыкания

При параллельной работе двух трансформаторов с равными величинами $u_{\text{к}}$ нагрузки между трансформаторами распределяются пропорционально их мощностям.

Если $u_{\text{к}}$ трансформаторов имеет разные значения, нагрузка между трансформаторами будет распределяться обратно пропорционально величинам $u_{\text{к}}$. Это значит, что трансформатор с большей величиной $u_{\text{к}}$ примет на себя меньшую нагрузку, а трансформатор с меньшей величиной $u_{\text{к}}$ — бóльшую.

Параллельная работа трансформаторов с разными значениями $u_{\text{к}}$ допустима во всех случаях, если ни один из трансформаторов не будет перегружен.

Параллельная работа трансформаторов с разными группами соединений обмотки

Параллельная работа трансформаторов возможна в следующих случаях: а) при одинаковых группах соединений обмоток; б) между четными группами 12, 4 и 8, так как путем круговой перестановки зажимов эти группы могут быть приведены друг к другу; в) между четными группами соединения 6, 10 и 2 по тем же соображениям, что и для п. б; г) между нечетными группами соединения 11, 3 и 7 и группами 5, 9 и 1, так как они путем круговой перестановки зажимов могут быть приведены друг к другу.

Безусловно, нельзя допустить параллельную работу трансформаторов четных групп 12, 4 и 8 с трансформаторами групп 6, 10 и 2, так как линейные э. д. с. в этих группах сдвинуты на 180°. Параллельная работа таких трансформаторов возможна только в том случае, если поменять местами начало и конец первичной или вторичной обмоток одного из трансформаторов. Так как обычно начало и конец обмотки не выведены наружу, подобное пересоединение связано с выемкой сердечника и перепайкой обмотки.

Недопустима также параллельная работа трансформаторов четных и нечетных групп, так как ни при каких условиях и ни при каких пересоединениях невозможно четную группу превратить в нечетную и наоборот (без изменения коэффициента трансформации).

Возможность параллельной работы трансформаторов нечетных групп 11, 3 и 7 с трансформаторами нечетных групп 5, 9 и 1 без внутренних пересоединений осуществляют следующим образом.

Для параллельного включения трансформатора группы 1 с трансформатором группы 11 необходимо у первого трансформатора перекрестить две любые фазы на высшем напряжении и те же две фазы — на низшем. Чтобы параллельно включить трансформатор группы 5

с трансформатором группы 11, необходимо у первого трансформатора перекрестить фазы A и B на высшем напряжении и фазы B' и C' — на низшем.

15. Фазировка трансформаторов

Под фазировкой понимают проверку соответствия параметров и проверку под напряжением правильности соединений трансформаторов, включаемых на параллельную работу (рис. IX.27).

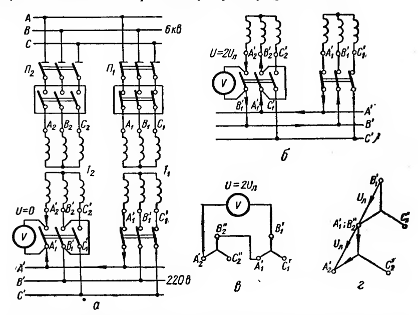


Рис. IX.27. Схемы фазировки двух трансформаторов, у которых вторичные обмотки соединены в звезду без выведенной нулевой точки:

а — трехлинейная схема, фазы трансформаторов совпадают; *б* — трехлинейная схема, фазы не совпадают; *в* — упрощенная схема, соединение концов фаз трансформаторов то же, что в схеме «б»; *г* — векторная диаграмма к схеме «в» (напряжение между концами A'', и B'_1).

Фазировка понижающих трансформаторов

Понижающие трансформаторы с не заземленной нейтралью вторичных обмоток или с вторичной обмоткой, соединенной в треугольник, фазируют в следующем порядке.

Когда определено напряжение между двумя зажимами рубильника (одной из фаз) фазируемого трансформатора T_2 ставят перемычку, необходимую для создания замкнутой цепи вольтметра.

Выключатель $П_2$ включают со стороны ВН трансформатора T_2, т. е. его ставят под напряжение (трансформатор T_1 — работающий). После этого проверяют наличие и симметричность напряжения на

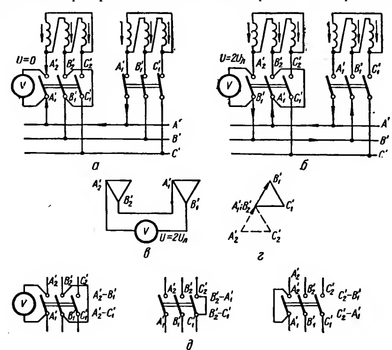


Рис. IX.28. Схемы фазировки двух трансформаторов, у которых вторичные обмотки соединены в треугольник:

а — фазы трансформатора совпадают; *б* — фазы трансформатора не совпадают; *в* — упрощенная схема; *г* — векторная диаграмма к схеме «*в*»; *д* — измерение напряжения между концами A_2' и B_1' токопроводов и разъединителя.

вторичной стороне трансформатора между зажимами A_1B_1'; $A_1'C_1'$; $B_1'C_1$; $A_2'B_2'$; $A_2'C_2'$; $B_2'C_2'$ (рис. IX.28,*а*). Результаты всех шести измерений должны быть одинаковыми.

Затем измеряют напряжение между зажимами $A_2'A_1'$ и $C_2'C_1'$ (при наличии перемычки между фазами $B_1'B_2'$).

При совпадении фаз и соответствии параметров трансформатора, показания вольтметра при измерении напряжения между зажимами $A_2'A_1'$ и $C_2'C_1'$ равны нулю, в противном случае не равны. Если фазы не совпадают, максимальное напряжение, измеренное вольтметром, может быть равно двойному номинальному (линейному) вторичному напряжению трансформатора.

Когда фазнруют трансформаторы с вторнчнымн обмотками, соедненнымн в треугольннк нлн в звезду с незаземленной нейтралью (а также без вывода нулевой шнны), следует пользоваться вольтметром со шкалой на двойное номинальное (лннейное) вторнчное на-

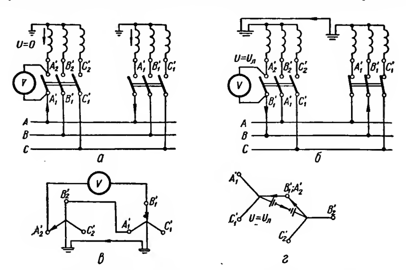


Рис. IX.29. Схемы фазировки двух трансформаторов, у которых наглухо заземленные вторичные обмотки соединены в звезду:
а — фазы трансформаторов совпадают; *б* — фазы не совпадают; *в* — упрощенная схема; *г* — векторная диаграмма к схеме «а» (напряженне между нулевымн точкамн трансформаторов, соедниенных через землю).

пряженне трансформатора. Прн опыте нзмеряют напряжение между следующнмн зажнмами: $A'_2A'_1$; $A'_2B'_1$; $A'_2C'_1$; $B'_2B'_1$; $B'_2A'_1$; $B'_2C'_1$; $C'_2C'_1$; $C'_2B'_1$; $C'_2A'_1$.

Прн фазировке трансформаторов с наглухо заземленной нейтралью перемычку между зажимамн рубнльннка ставнть не разрешается, так как цепь тока вольтметра замыкается через землю или нулевую шину. Кроме того, при неправнльном соединенин фаз налнчне перемычкн прнводнт к однофазному к. з.

Трансформаторы с наглухо заземленной нейтралью фазнруют в указанном выше порядке, за нсключеннем того, что на зажимах рубильннка не ставят перемычку (рис. IX.29).

Порядок измерення напряження между концамн трансформаторов: $A'_2A'_1$; $A'_2B'_1$; $A'_2C'_1$; $A'_2O'_1$; $B'_2B'_1$; $B'_2A'_1$; $B'_2C'_1$; $B'_20'_1$; $C'_2C'_1$; $C'_2A'_1$; $C'_2B'_1$; $C'_20'_1$; $0'_20'_1$; $0'_2A'_1$; $0'_2B'_1$; $0_2C'_1$.

Для измереиия напряжения делеиия шкалы вольтметра принимают равиыми ие меиее удвоеиного фазового иапряжения трансформатора.

Фазировка в установках напряжением выше 1000 в

В таких установках фазировка осуществляется стациоиарными или переносными измерительиыми траисформаторами иапряжеиия или комплектом, состоящим из специальиых указателей напряжеиия.

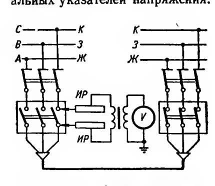


Рис. IX.30. Схема фазировки кабельной линии переносным измерительным ТН (*к*, *з* и *ж* — окраска шин соответствеино красная, зеленая и желтая).

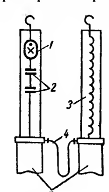


Рис. IX.31. Комплект для фазировки установок на напряжение 2—10 *кв*.

1 - неоновая лампа; *2* — конденсаторы; *3* — сопротивление; *4* — провод ПВЛ или ПВГ; *5* - указатель напряжения.

Фазировку при помощи переиосного измерительного ТН производят в устаиовках иапряжеиием не выше 10 *кв* (рис. IX.30). Трансформатор при помощи изолирующих рукояток *ИР* подключают поочередио между всеми фазами системы шии и жилами фазируемого кабеля.

Нулевые показаиия вольтметра, включеииого на стороне НН (трансформатора иапряжения), соответствуют одноименным фазам ВН. Последовательность измереиий такая же, как при фазировке траисформаторов со стороны НН до 500 *в*.

Фазировка специальным фазировочным комплектом ФК, так же как фазировка переносиым измерительиым ТН, применяется в установках иапряжеиием не выше 10 *кв*.

Специальный фазировочиый комплект состоит из двух высоковольтных указателей напряжения, в одии из которых вместо кондеисаторов и неоновой лампы вставлено непроволочиое сопротивление типа МЛТ-2 величииой 2,5—3,5 *Мом* для иапряжеиия 6 *кв* и 6—7 *Мом*

для напряжения 10 *кв.* Металлические кольца указателей соединяют между собой гибким проводом с усиленной изоляцией (типа ПВЛ или ПВГ), выдерживающей испытательное напряжение 20 *кв* (рис. IX.31). Крючком одного из указателей касаются поочередно всех фаз со стороны системы, а крючком другого — всех жил фазируемого кабеля (рис. IX.32). Свечение неоновой лампы показывает, что фазы разноименные, а потухание, что они одноименные. Во избежание перегрева сопротивлений продолжительность непрерывного нахождения комплекта указателей под напряжением не должна превышать 10—15 *сек*.

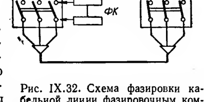


Рис. IX.32. Схема фазировки кабельной линии фазировочным комплектом.

Фазировка на стороне 20 кв и выше

Такая фазировка может быть произведена косвенным методом — измерительными трансформаторами. Однако необходимо убедиться в том, что схема и группа соединений измерительных трансформаторов одинаковы (рис. IX.33).

До фазировки силовых трансформаторов ТН фазируют между собой путем соединения обеих систем шин шиносоединительным выключателем. Так как у измерительных трансформаторов заземлена нейтраль или одна из фаз НН, получается замкнутый электрический контур. Необходимо, чтобы соединение было сделано на одинаковых фазах. Фазировка ведется так, как указано выше.

Сфазированные концы ТН надежно закрепляют друг против друга.

После фазировки измерительных трансформаторов отключают шиносоединительный выключатель и на резервную систему шин включают трансформатор, подлежащий фазировке. Другую обмотку трансформатора включают на систему шин, имеющую напряжение сети, с которой фазируется трансформатор. После включения трансформатора на резервную систему шин при отключенном шиносоединительном выключателе фазировка осуществляется между измерительными трансформаторами.

Если между расположенными друг против друга концами измерительных трансформаторов имеются нулевые показания, фазировка считается оконченной; в противном случае изменяют соединение подводящих концов фазируемого трансформатора и повторяют фазировку.

Трехобмоточные трансформаторы фазируют на каждой из двух обмоток при включенной (питающей) третьей. Методы фазировки те же, что и для двухобмоточных трансформаторов.

Проведение фазировки трансформаторов оформляется специальным актом; данные измерений записываются в таблицу.

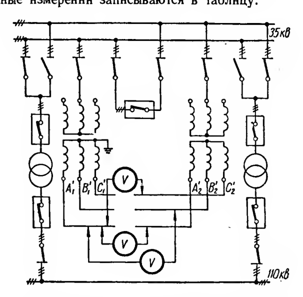


Рис. IX.33. Принципиальная схема фазировки трансформаторами напряжения, присоединенными к шинам.

16. Дополнительные работы на трансформаторах с регулированием напряжения под нагрузкой

Помимо работ, проводимых на силовых трансформаторах общего назначения, при регулировании напряжения под нагрузкой проводятся такие дополнительные работы: 1) проверка переключающего устройства; 2) проверка реле (регулирования напряжения, времени, промежуточных и контроля скорости); 3) проверка схемы автоматики; 4) снятие круговой диаграммы.

Проверка переключающего устройства

Для проверки переключающего устройства из его бака сливают масло, после чего динамометром измеряют давление контактов (бара-

бан нужно вскрывать в положении V переключателя), которое должно быть не меньше 2 *кг*. Масло в баке переключающего устройства должно иметь электрическую прочность не ниже 25 *кв*.

Проверка реле

Реле регулирования напряжения (РН), реле времени (РВ) и промежуточные реле (ПР) проверяют в соответствии со схемами гл. XVII.

При подаче напряжения для проверки РН от клемм необходимо отсоединить провода, идущие в схему, так как иначе испытательное напряжение через ТН может попасть в главные цепи.

У реле скорости проверяют целость обмотки электромагнитной муфты, сопротивление ее изоляции, а также правильность направления вращения реле.

17. Испытание схем автоматического управления переключателями трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой

Проверка работы схем ступенчатого регулирования напряжения

Схемы регулирования напряжения испытывают при установке трансформатора, а также в процессе эксплуатации при изменении режимов его работы.

Испытание начинают с проверки работы измерительного элемента схемы — реле регулирования напряжения. В процессе проверки определяют правильность уставки реле и возможность ее изменения в заданных пределах (крайние значения срабатывания и отпускания, определяющие полный диапазон нечувствительности и коэффициент возврата). Уставка органа управления должна допускать регулировку в пределах $\pm 10\%$. Эта регулировка осуществляется установочным реостатом вспомогательного устройства типа ВСА-246.

Окончательное значение уставки, определяемое равновесным положением траверсы реле, принимается с учетом уровней напряжения, требуемых по условиям эксплуатации сети. Обычно при регулировании напряжения отходящих линий требуется завышенное напряжение уставки реле $U_р$ по отношению к номинальному, например $U_р = 1{,}05 U_{ном}$. При этом средний уровень напряжения на вторичной стороне нагруженного трансформатора будет на 5% отличаться от номинального напряжения линии.

Влияние напряжения срабатывания проверяют в рабочем положении реле при питании его током промышленной частоты и плавном изменении подведенного напряжения. Для реле, осуществляющих ступенчатое регулирование напряжения (типа РРН и ЭН), величина срабатывания задается двумя крайними значениями, поэтому во время

испытаний проверяют значения напряжения срабатывания, вызывающие замыкание правой и левой пар главных контактов при работе реле на повышение и снижение напряжения.

Момент замыкания контактов отмечают по загоранию контрольных ламп, включенных последовательно с контактами. Когда лампы гаснут, отмечают напряжение отпускания для обоих крайних положений, определяющих зону удержания реле. При этом зона удержания обоих (верхнего и нижнего) уровней срабатывания должна быть одинаковой.

Для устройств со ступенью регулирования 2—2,5% и полной зоной нечувствительности 4—5% средний коэффициент возврата может быть принят равным 0,99. Зона удержания составит примерно 2 *в*, что вполне достаточно для устойчивой работы реле. Одновременно с настройкой реле проверяют состояние контактной системы.

Контакты реле типа РРН рассчитаны на 50 000 срабатываний без зачистки и регулировки и 100 000 срабатываний с зачисткой или заменой их. Рабочие контакты реле могут включать и отключать индуктивную нагрузку постоянного и переменного тока 0,1 *а* при 220 *в* и 0,2 *а* при 100 *в*. Контакты минимального элемента, рассчитанные на включение и отключение индуктивной нагрузки постоянного и переменного тока для тех же значений напряжения и тока, выдерживают 3000 срабатываний без осмотра.

Минимальный элемент реле переменного тока (РМН) также подвергается проверке. При изменении подведенного к реле напряжения контакт элемента должен открываться при снижении его больше чем на 20—30% $U_{ном}$.

Уставку минимального элемента выбирают в соответствии с настройкой основного реле напряжения. Для этого указатель элемента устанавливают на отметке, соответствующей принятому в качестве уставки напряжению основного реле. Так, при величине регулируемого напряжения реле $1{,}1U_{ном}$ указатель минимального элемента устанавливают на отметке шкалы, соответствующей 110%. Реле напряжения рекомендуется проверять не реже одного раза в шесть месяцев.

Кроме измерительного органа схемы управления, проверяют реле, создающее выдержку времени. В схемах регулирования напряжения наибольшее распространение получили электродвигательные реле времени типа Е-52 с выдержкой времени от 1 до 60 *сек*. Начиная проверку таких реле, необходимо убедиться, что установка по шкале и визиру соответствует действительной выдержке времени реле, проверяемой по секундомеру. При включении реле электромагнит сцепления должен четко вводить и выводить из зацепления механизм сцепления. Погрешность срабатывания реле с предварительным включением двигателя не должна быть больше $\pm 0{,}25$ *сек*, а при одно-

временном включении реле и двигателя ± 1 *сек*; время возврата реле должно быть не больше 0,5 *сек*.

Для настройки РВ необходимо распломбировать и снять кожух реле, освободить рифленную гайку, фиксирующую положение шкалы, и, поворачивая шкалу относительно визира, установить нужную выдержку времени, после чего вновь закрепить гайку. Рекомендуемые для подстанционных регуляторов напряжения выдержки времени составляют примерно 40—50 *сек*.

После 10 000 срабатываний реле регулируют зазоры между контактами, проверяют работу механизма сцепления и установку визира. Все регулировочные работы следует производить в соответствии с инструкциями завода-изготовителя.

При испытании приводного механизма проверяют четкость пуска, правильность направления вращеиия переключающего устройства и систему торможения. Выпускаемые заводом приводные мехаиизмы не требуют специальиой настройки системы торможения, однако она может понадобиться после частичной разборки или сборки механизма. Если система торможения работает правильно, переключающее устройство после подачи импульса переходит только на одиу ступень и останавливается в рабочем положении. В противном случае может последовать возврат механизма в исходное положение.

В схемах управления постоянного тока (для первых выпусков переключателей типа РНТ-9) приводной электродвигатель тормозится при закорачивании обмотки якоря после его отключеиия от сети.

Благодаря тому, что параллельная обмотка двигателя отключается позже, чем закорачивается обмотка якоря, происходит электродинамическое торможение двигателя и движущееся по иерции переключающее устройство останавливается в рабочем положении.

Настройка торможения в таких схемах сводится к правильной устаиовке пальцев контроллера и правильному выбору выдержки времени реле, установленного для отключения параллельной обмотки. Устойчивое торможение обеспечивается при выдержке времени 1—1,5 *сек*; при большем времени ОВ и гасительное сопротивлеиие (ГС) будут перегреваться.

В переключающих устройствах для дистанционного указания положения механизма используется синхроиная передача, состоящая из сельсиное-датчиков и приемника, соедииенных между собой. Ротор датчика, расположенного на приводном механизме, кинематически связан с приводом и за одно переключение поворачивается на угол 22,5°. Приемник помещен на щите управления; на его роторе закреплен диск с делениями от 1 до 9. При повороте ротор датчика, а вместе с ним и ротор приемника должны повернуться на один и тот же угол.

Синхронность передачи регулируется следующим образом. Переключающее устройство устанавливают в среднее, V, положение (это проверяют по указателю положений приводного механизма). Когда приемник и датчик подключены, после успокоения приемника (примерно через 3 *сек*) проверяют, на каком положении остановился его ротор. Если диск приемника указывает не на V положение, то, ослабив болты крепления приемника, поворачивают статор до нужного положения и вновь закрепляют. Диск можно поворачивать относительно ротора, однако это менее желательно, так как возможно повреждение последнего.

В схемах постоянного тока правильность подключения ламповой сигнализации проверяют поводком лампового указателя при движении переключателя с одной ступени на другую. В рабочем положении горит лампа соответствующей ступени, а на время перехода — красная лампа переключения.

Настройка бесконтактной схемы управления

В качестве измерительного и усилительного органа в таких схемах используют магнитные усилители (МУ), обеспечивающие большую надежность работы устройства.

Иногда в процессе испытания необходимо изменить настройку чувствительного элемента, определяемую напряжением срабатывания $U_{ср}$ и отпускания $U_{отп}$. В схемах небольших одноступенчатых регуляторов напряжения настройка может быть изменена при изменении коэффициента обратной связи МУ и величины смещения. Эти величины, а также степень подмагничивания регулируют соответствующими сопротивлениями.

Верхний предел напряжения срабатывания, ограничиваемый максимально допустимым током выпрямительного моста и перегревом катушки электромагнита, равен 420 *в*, нижний предел, ограниченный условием надежного втягивания электромагнита, равен 400 *в*. Напряжение отпускания выбирают в зависимости от необходимой точности регулирования.

Для устойчивой работы регулирующих устройств с напряжением ступени 5% оптимальный диапазон нечувствительности может быть равен 7%. Тогда коэффициент возврата

$$K_{в} = \frac{U_{отп}}{U_{ср}} = \frac{0{,}95U_{2ном}}{1{,}02U_{2ном}} = 0{,}93, \qquad (IX.54)$$

где $U_{2ном}$ — вторичное номинальное напряжение силового трансформатора.

Изменяя поочередно или одновременно величину регулирующих сопротивлений можно получить различные значения коэффициента

возврата (от 0,8 до 0,96); для рассматриваемых конструкций трансформаторов его рекомендуется принимать в пределах 0,92—0,94. При изменении коэффициента возврата указанным способом средний уровень напряжения

$$U' = \frac{U_{ср} + U_{отп}}{2} \quad (IX.55)$$

не остается постоянным.

Стабильность уставок срабатывания колеблется в зависимости от частоты питающего тока, что необходимо учитывать при настройке схем.

При многоступенчатом регулировании напряжения принимают два измерительных органа, которые поочередно дают сигнал на прямое и обратное включение, т. е. они работают как реле максимального и минимального напряжения. Особенностью настройки таких схем является стремление обеспечить коэффициент возврата каждого элемента близким к единице. Это дает возможность уменьшить общую зону нечувствительности устройства и повысить качество регулирования напряжения.

18. Нагрев обмоток трансформаторов методом потерь в железе

По всей высоте кожуха трансформатора на асбест наматывают изолированный провод намагничивающей обмотки. Для получения более равномерного распределения температуры внутри кожуха витки в нижней части кожуха располагают гуще, чем в средней и верхней При отсутствии асбеста намагничивающую обмотку наматывают на тонкие деревянные рейки, отстающие от кожуха на 1—2 *см*.

Обмотки следует нагревать при снятых радиаторах. Для контроля за температурой на обмотки трансформатора устанавливают несколько термопар или термометров сопротивления. Точно так же устанавливают одну-две термопары или термометры сопротивления непосредственно на железе кожуха. Перед обогревом кожух необходимо изнутри протереть от остатков масла.

При сушке трансформатора нужно следить за тем, чтобы температура обмотки не превышала 95—100° С, а температура кожуха была 115—120° С.

Температура регулируется периодическим включением и отключением намагничивающей обмотки. Правильным подбором числа витков намагничивающей обмотки число отключений можно свести к минимуму.

Сушку следует производить под вакуумом. Вакуумнасос нужно включать после того, как температура обмотки трансформатора

достигиет 95—100° С. Вакуум необходимо подиимать ступенями. Сначала создается вакуум в 15 *см рт. ст.*, а затем по 5 *см* через каждый час. Максимальиый вакуум не должен превосходить допустимой величииы для даиного типа траисформаторов.

Ориентировочный расчет мощности, числа витков и величины тока, необходимых для сушки трансформаторов III и IV габаритов со снятыми радиаторами

В зависмости от типа траисформатора и условий сушки (утепления, температуры окружающего воздуха и др.) нужио определить потребиую для сушки мощиость:

для утепленного трансформатора

$$P = 5F(100 - t_{о.\ ср})\,10^{-3}\,[квт]; \qquad (IX.56)$$

для иеутеплеииого траисформатора

$$P = 12F(100 - t_{о.\ ср})\,10^{-3}\,[квт], \qquad (IX.57)$$

где F — поверхиость кожуха трансформатора, $м^2$; $t_{о.\ ср}$ — температура окружающего воздуха.

Поверхиость кожуха, заиимаемая обмоткой:

$$F_0 = lh\,[м^2], \qquad (IX.58)$$

где l — периметр кожуха, *м*; h — высота боковой поверхиости кожуха, на которую иаматывают обмотку, *м*.

Удельный расход мощности

$$\Delta P = \frac{P}{F_0}\,[квт/м^2]. \qquad (IX.59)$$

Согласно даииым табл. IX.17, по величине ΔP определяют удельиые ампервитки иа 1 *см* высоты кожуха, иа который иаматывают обмотку, и величину A.

Необходимое число витков

$$w = \frac{AU}{l}, \qquad (IX.60)$$

где U — подводимое напряжеиие, *в*; l — периметр кожуха.

Таблица IX.17

Вспомогательные данные для расчета намагничивающей обмотки при сушке трансформаторов III и IV габаритов с толщиной кожуха 6 *мм* и больше

ΔP, *квт/м²*	*aw*	*A*	ΔP, *квт/м²*	*aw*	*A*	ΔP, *квт/м²*	*aw*	*A*
0,75	19,5	2,33	1,35	32,5	1,77	2,4	46,9	1,41
0,8	20,5	2,26	1,40	33,5	1,74	2,5	4,8	1,42
0,85	22	2,18	1,45	34,5	1,71	2,6	49,1	1,41
0,9	23,5	2,12	1,5	35,5	1,68	2,7	50,2	1,39
0,95	24,5	2,07	1,6	36,5	1,65	2,8	51,3	1,38
1,0	25,5	2,02	1,7	38	1,62	2,9	52,3	1,36
1,05	26,7	1,97	1,8	39,5	1,59	3,0	53,3	1,34
1,1	28	1,92	1,9	41	1,56	3,25	56	1,31
1,15	29	1,88	2,0	42,3	1,54	3,5	58,2	1,28
1,2	30	1,84	2,1	43,4	1,51	3,75	60,6	1,25
1,25	31	1,81	2,2	44,5	1,49	4,0	63,2	1,22
1,3	31,8	1,79	2,3	45,8	1,46			

Для удобства устройства обмотки желательно иметь возможно меньшее число витков и наибольшую величину тока. Практически можно рекомендовать применять ток 150 *а*, что дает возможность использовать провод диаметром 20—35 *мм²*. Принимая коэффициент мощности равным 0,7, при напряжении 500; 380 и 220 *в* для трансформаторов большой мощности получим соответственно следующие значения мощности: 52; 40 и 23 *квт*. Для трансформаторов небольшой мощности необходимо использовать напряжение меньшей величины, которое можно получить от сварочных и котельных трансформаторов.

Величина тока в обмотке намагничивания

$$I_{\text{нам}} = \frac{awh}{w} 10^2 \, [a]. \qquad (IX.61)$$

Если окажется, что количества выделяемого тепла недостаточно для сушки, необходимо уменьшить число витков, так как это даст возможность при неизменном напряжении увеличить магнитный поток.

Пример. Рассчитать параметры обмотки, необходимой для сушки трансформатора типа ОТД 13500/110 напряжением 110/11/5,9 *кв*. Кожух утеплен асбестовыми листами. Температура окружающего воздуха $t_{\text{о. ср}} = 10°$ С. Поверхность кожуха трансформатора $F = 55$ *м²*, периметр $l = 10$ *м*.

По формуле (IX.56) мощность, необходимая для сушки:

$$P = 5 \cdot 55\,(100 - 10)\,10^{-3} = 25\ квт.$$

Обмотку размещаем на высоте 3 *м*. Тогда площадь под намагничивающей обмоткой

$$F_0 = 10 \cdot 3 = 30\ м^2.$$

Удельный расход мощности, согласно выражению (IX.59):

$$\Delta P = \frac{25}{30} = 0{,}835\ квт/м^2.$$

Из табл. IX.17 для $\Delta P = 0{,}83$ находим

$$aw = 21{,}5; \quad A = 2{,}20.$$

Число витков намагничивающей обмотки при напряжении 220 *в*

$$w = \frac{2{,}2 \cdot 220}{10} = 48.$$

По формуле (IX.61) ток в намагничивающей обмотке

$$I_{нам} = \frac{21{,}5 \cdot 3}{48}\,10^2 = 134\ а.$$

Рис. IX.34. Схемы питания намагничивающих обмоток бака трансформатора для нагрева:

а — однофазный ток секций обмоток, соединенных параллельно; *б* — трехфазный ток секций обмоток, соединенных в звезду

Чтобы ориентировочно определить параметры намагничивающей обмотки для нагрева трансформатора в собственном баке без масла по способу потерь в железе, можно пользоваться данными табл. IX.18.

По схеме, приведенной на рис. IX.34, *а*, температура регулируется периодическим включением и выключением любой комбинации секций. Направление тока в средней секции должно быть обратным по отношению к верхней и нижней секциям (рис. IX.34, *б*). Направление намотки всех фаз одинаковое; пофазная регулировка тока при этой схеме может быть осуществлена перемещением общей точки «нуль» соединения в звезду. Ток в фазах выравнивается тогда, когда число витков в средней фазе составляет примерно 40% числа витков одной из крайних фаз.

Таблица IX.18

Параметры намагничивающей обмотки

Мощность трансформатора, *ква*	Тип бака	Способ укладки намагничивающей обмотки	Сечение провода, *мм²*	Число витков	Напряжение питания, *в*	Ток, *а*	Потребляемая мощность, *квт*
50	Трубчатый	По боковой поверхности	6	48	54	32	1,3
100	Ребристый	То же	10	30	60	67	—
240	Трубчатый	» »	10	41	95	52	—
560	Ребристый	Через дно и крышку	25	52	220	68	8,2
750	»	По боковой поверхности	25	31	220	50	—
1800	»	То же	25	28	220	100	—
3200	Трубчатый	Через дно и крышку	25	42	220	90	—
6667	Ребристый	По боковой поверхности	25	26	220	95	—
10000	Гладкий	Через дно и крышку	25	40	220	90	—
13500	»	По боковой поверхности	35	52	220	95	—
15000	»	То же	—	57	220	150	2,5

ГЛАВА X

РТУТНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. Введение

Ртутные выпрямители (РВ) широко используются в промышленных установках и на транспорте в качестве преобразователей электроэнергии. Основное назначение их — преобразование переменного тока промышленной частоты в постоянный (выпрямленный) ток. Такие выпрямители часто используют для регулирования выпрямленного напряжения (РВ с сеточным управлением или синхронным поджиганием). Кроме того, РВ применяют для преобразования постоянного тока в переменный (инвертирование), а также для преобразования частоты.

По типу РВ бывают много- и одноанодные, а по конструкции — металлические разборные с вакуумными насосами, металлические запаянные и стеклянные. РВ имеют водяное или воздушное (принудительное или естественное) охлаждение.

Основные элементы РВ: 1) ртутный катод (расположенный всегда в нижней части выпрямителя); 2) главные аноды (один в одноанодных РВ и до двенадцати в многоанодных); 3) анод зажигания (для пуска, а у игнитронов для управления РВ); 4) аноды возбуждения, предназначенные для поддержания горения дуги при малых нагрузках РВ; 5) управляющие сетки, служащие для регулирования выпрямленного напряжения от 0 до 100% либо для поддержания его на заданном уровне при отклонениях напряжения питающей сети.

В комплект преобразовательного агрегата, кроме РВ, входят также: а) силовые трансформаторы; б) вакуумные насосы и устройства регулирования и измерения вакуума в РВ; в) система охлаждения РВ; г) аппаратура сеточного управления и защиты (или синхронного поджигания), управления анодами возбуждения и зажигания, устройства автоматического контроля и регулирования РВ; д) катодные и уравнительные реакторы; е) анодные двигатели; ж) быстродействующие автоматы.

2. Объемы и нормы испытаний

Согласио ГОСТу 2329—62, предусматривается следующий объем коитрольных испытаиий РВ.

1. Проверка герметичиости соединений и сварных швов в системе водяиого охлаждеиия (ГОСТ 3242—54) в течеиие 3 *мин.*

2. Проверка системы зажигания, возбуждеиия и сеточиого регулирования.

3. Проверка иатекания системы откачки разборных РВ. Допустимые натекания не должны превышать 0,5 *мкм рт. ст./ч* для РВ и 3 *мкм рт. ст./ч* для преобразователя в целом.

4. Испытание изоляции (табл. X.1).

5. Испытание под иагрузкой ртутиых вентилей.

Типовые испытаиия, кроме коитрольных, включают проверку преобразовательных агрегатов в следующем объеме:

1) проверка работы ртутиых веитилей в режимах иагрузки и перегрузки (табл. X.2);

2) определение падения иапряжеиия в дуге;

3) определеиие распределения нагрузки между отдельными вентилями преобразовательного агрегата (разброс токов не должен превышать 10%);

Таблица X.1

Испытательиое напряжение изоляции деталей узлов и цепей вентилей, преобразователей и преобразовательных трансформаторов при длительиости испытания 1 *мин* и $f = 50$ *гц* (ГОСТ 2329—62)

Наименование испытуемых деталей узлов и цепей	Наименование узлов и деталей, по отношению к которым испытывают изоляцию	Действующее значение испытательного напряжения, *в*	
		Нулевая схема	Мостовая схема
Вентили			
Анод	Корпус	$U_m + 5000$	$U_m + 5000$
Делящая вставка	Корпус, анод	$0,5U_m + 2500$	$0,5U_m + 2500$
Сетка	Корпус, фильтр (если выведен)	1500	1500
Вспомогательные электроды (за исключением зажигателей и подхватывающих анодов в игнитронах)	Корпус	1500	1500
Подхватывающие аноды в игнитронах	»	500	500
Катод	»	500	500

Наименование испытуемых деталей узлов и цепей	Наименование узлов и деталей, по отношению к которым испытывают изоляцию	Действующее значение испытательного напряжения, *в*	
		Нулевая схема	Мостовая схема
Преобразователи			
Цепи, связанные с анодами	Заземленные детали	$3U_{dio}+5000$	$1{,}5U_{dio}+5000$
Катоды и корпусы вентилей и связанные с катодами цепи, расположенные в шкафах	Заземленные детали	$2U_{dio}+1000$ (но не меньше 3000)	$1{,}5U_{dio}+5000$
Рамы	Заземленные детали	$2U_{dio}+1000$	$2U_{dio}+1000$
Вторичные обмотки вспомогательных трансформаторов и связанные с ними цепи	Первичные обмотки вспомогательных трансформаторов и связанные с ними цепи, а также заземленные детали	$2U_{dio}+1000$ (но не меньше 3000)	$1{,}5U_{dio}+5000$
Первичные обмотки вспомогательных трансформаторов и цепи, с ними связанные	Заземленные детали	2000	2000
То же	Изолированные от земли рамы (в случае прокладки по ним проводов)	$2U_{dio}+1000$	$2U_{dio}+1000$
Преобразовательные трансформаторы			
Вентильные обмотки и их выводы	Корпус и другие обмотки	$3U_{dio}+5000$	$1{,}5U_{dio}+5000$
Уравнительные реакторы (обмотки и выводы) и вторичные обмотки утроителей частоты	Корпус	$3U_{dio}+5000$	—
Ветви уравнительного реактора	По отношению друг к другу	$2U_{dio}+1000$	—
Анодные делители (обмотки и выводы)	Корпус и заземленные детали	$3U_{dio}+5000$	$1{,}5U_{dio}+5000$

Примечание. U_m — амплитудное номинальное обратное напряжение; U_{dio} — номинальное выпрямленное напряжение при холостом ходе преобразователя.

Таблица X.2

Обязательный минимум приемо-сдаточных испытаний РВ

Объем испытаний	Нормы испытаний
Проверка натекания вакуумного корпуса выпрямителя и системы откачки после переборки и формовки	Согласно данным завода-изготовителя (только для разборных выпрямителей)
Проверка производительности, противодавления и предела откачки насосов предварительного и глубокого вакуума	Согласно данным завода-изготовителя (только для разборных выпрямителей)
Измерение сопротивления изоляции мегомметром: главных анодов относительно корпуса и сеток; сетки относительно корпуса; анодов возбуждения; анодов зажигания относительно корпуса; катода относительно корпуса (при заполненной водой системе охлаждения); катода относительно земли (при заполненной водой системе охлаждения)	Согласно данным завода-изготовителя
Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции элементов выпрямительного агрегата ($U_{выпр}$ — номинальное выпрямленное напряжение): корпус металлического выпрямителя, катод, аппараты, электрически связанные с корпусом или катодом, по отношению к заземленным частям или первичным обмоткам вспомогательных трансформаторов; ветви уравнительного реактора по отношению друг к другу	$0,75\,(2U_{выпр}+1000)$
Аноды выпрямителя по отношению к корпусу, раме или каркасу. Вторичные обмотки главного трансформатора по отношению к корпусу и друг к другу	$0,75\,(3U_{выпр}+5000)$
Проверка величин анодного напряжения, выходного напряжения пик-генератора, напряжения смещения, напряжения и тока системы возбуждения и зажигания	Согласно данным завода-изготовителя. Для неуправляемых выпрямителей измерения, относящиеся к сеткам, не производятся
Проверка фазировки анодного напряжения с сеточным напряжением и с напряжением возбуждения	Согласно данным завода-изготовителя. Для неуправляемых выпрямителей фазировка сеток не производится

Объем испытаний	Нормы испытаний
Определение равномерности распределения токов по анодам выпрямителя	При всех нагрузках токи по анодам должны распределяться равномерно
Проверка сеточного регулирования (для выпрямителей с регулирующими сетками)	Пределы регулирования должны соответствовать данным завода-изготовителя, изменение величины выпрямленного напряжения должно происходить плавно
Проверка четкости зажигания	Зажигание должно происходить четко, без длительной пульсации системы зажигания
Измерение величины падения напряжения в дуге выпрямителя при номинальном токе	Согласно данным завода-изготовителя
Проверка параллельной работы выпрямителя с другими агрегатами	Должно иметь место устойчивое распределение нагрузки в соответствии с параметрами работающих и вновь вводимых выпрямительных агрегатов

4) определение формы, величины и асимметрии сеточных импульсов при предельных отклонениях напряжения собственных нужд (от +10 до —15%); асимметрия сеточных импульсов преобразователя должна быть в пределах ±1 электрического градуса;

5) проверка поведения преобразователя при к. з. и др.

Согласно «Правилам технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий», II-6-18 (Союзглавэнерго, 1961), перед включением в работу смонтированного преобразовательного агрегата следует перебрать вакуумные части с последующей формовкой, испытанием, наладкой, регулировкой и фазировкой в соответствии с инструкцией и нормами завода-изготовителя. Агрегат считается принятым в эксплуатацию, если он проработал бесперебойно с номинальной нагрузкой 24 *ч*. По окончании капитального ремонта преобразователя необходимо проверить натекание (для разборных типов) в пределах откачки и производительность вакуумных насосов (где они имеются), испытать изоляцию всех элементов, проверить фазировку сеток, главных анодов, анодов возбуждения и поджигания, проверить работу схемы и аппаратуры режимной автома-

тики и защиты, снять вольт-амперные характеристики агрегата, определить равномерность загрузки разных фаз (анодов) преобразователя.

Согласно ПТЭ, II-6-34, агрегат считается сданным в нормальную эксплуатацию после капитального ремонта, если он проработал бесперебойно на реальную нагрузку в течение 24 *ч*. Капитальные ремонты производят не реже чем один раз в шесть лет.

Кроме послеремонтных испытаний, в процессе ежегодных средних ремонтов, проверяют и испытывают изоляцию анодных и катодных цепей (ПТЭ, II-6-9), а также вспомогательных и силовых цепей для насосных конструкций (ПТЭ, II-6-28).

ПТЭ предусматривают следующие нормы испытаний изоляции повышенным напряжением.

1. Изолировочные вставки и шланги, отделяющие технологически связанную с преобразователем аппаратуру от его частей, находящихся под потенциалом, испытывают по отношению к заземленным конструкциям напряжением постоянного тока, равным $0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$ *в*, в течение 1 *мин* (ПТЭ, II-6-8).

2. Изоляцию анодных цепей (кабелей, изоляторов) и вторичных обмоток силовых трансформаторов испытывают напряжением переменного тока, равным $0{,}75\,(3U_{ном} + 5000)$ *в*, в течение 1 *мин*.

3. Изоляцию катодных цепей (кабелей, изоляторов) испытывают напряжением переменного тока, равным $0{,}75\,(2U_{ном} + 1000)$ *в*, в течение 1 *мин* (ПТЭ, II-6-9).

3. Внешний осмотр выпрямительного агрегата и проверка электрооборудования главных цепей РВ

В процессе осмотра должно быть проверено следующее:

1) соответствие помещения, где установлены РВ, санитарным правилам по устройству и содержанию подстанций с ртутными выпрямителями и помещений по ремонту ртутных приборов Главной санитарной инспекции СССР;

2) правильность установки РВ согласно заводской инструкции;

3) наличие и состояние ограждений частей преобразовательного агрегата; ограждения (сплошные или сетчатые) должны быть высотой не менее 1,7 *м* и оборудованы блокировкой, исключающей открытие дверей без снятия напряжения с РВ и т. п.;

4) комплектация преобразовательного агрегата всем необходимым оборудованием и аппаратурой, в том числе и защитной;

5) правильность установки и присоединения стеклянных РВ; стеклянные РВ следует устанавливать на эластичной подвеске строго вертикально; в месте крепления колбы должны находиться асбестовые прокладки; контактные соединения (особенно на анодах) должны

быть надежными и плотными; соединительные провода у электродов РВ должны быть свободно подвешенными;

6) состояние систем откачки и охлаждения преобразовательного агрегата и т. д.;

7) наличие паспортной таблички и обозначений выводов РВ; согласно ГОСТу 2329—62, ввод анода зажигания экситрона обозначается $З$, вводы зажигателей игнитрона — $З_1$, $З_2$, $З_3$, ввод вспомогательного анода — $В$, вводы анодов возбуждения — $В_1$, $В_2$, $В_3$, вводы к потенциальным сеткам — $С_1$, $С_2$, $С_3$.

В объем проверки и наладки электрооборудования главных цепей РВ входит: а) прозвонка и визуальная проверка правильности выполнения всех силовых цепей РВ согласно проекту и техническим материалам завода-изготовителя; б) испытание всех кабелей и проводок; в) испытание силовых трансформаторов; г) испытание уравнительных и катодных реакторов (измерение сопротивления и испытание изоляции обмоток, измерение сопротивления обмоток постоянному току, проверка отсутствия к. з. витков); д) проверка анодных делителей; е) проверка и наладка быстродействующих анодных и катодных автоматов.

4. Проверка устройств зажигания, возбуждения и сеточного регулирования

До подключения этих устройств к РВ необходимо проверить правильность сборки схемы, полярность трансформаторов, измерить сопротивление и испытать повышенным напряжением изоляцию всех элементов и проводок устройств, измерить омические сопротивления всех катушек и реостатов, убедиться (в сомнительных случаях) в отсутствии к. з. витков в катушках, проверить релейно-контакторную аппаратуру и конденсаторы.

Одним из основных испытаний этих устройств является снятие характеристики фазовращательного устройства. В общем случае — это зависимость выходной величины — угла сдвига фазы выходного напряжения β относительно начального угла — от входной величины (X — угла поворота ротора машинного фазовращателя, тока или ампервитков aw управления дросселя насыщения статического фазовращателя) при постоянном напряжении сети $U_с$ (рис. X.1):

$$\beta = f(X), \text{ или } \beta = f(aw).$$

Угол β определяют фазометром, ваттметром или осциллографом; в качестве опорного принимают напряжение той же фазы до фазовращателя.

Кроме того, необходимо проверить величину напряжения на выходе устройств зажигания, возбуждения и сеточного регулирования. Напряженне определяют по отношению к нулевой точке (связываемой с катодом) н между выводами разных фаз снстемы возбуждення н сеточного регулирования. Измеряют также величнну напряжения сеточного смещения (вольтметром с большнм внутренннм сопротнвлением). Полученные величнны напряжений сравнивают с данными заводаизготовителя илн данными нспытаний аналогнчных устройств (в нсправных устройствах разница обычно не превышает 1—2%).

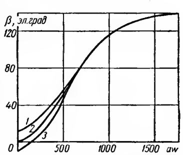


Рис. X.1. Характеристики статического фазовращателя: $1 - U_c = 380\ в + 10\%$; $2 - U_c = 380\ в$; $3 - U_c = 380\ в - 10\%$.

Одновременно с указанными выше испытаниями проверяют правильность обозначения выводов фаз устройств возбуждення н сеточного регулнрования. При правнльном обозначенни должны соблюдаться определенные соотношения между разлнчными фазными н междуфазными напряженнями. В виде прнмера ннже приводятся соотношення для шестнфазной схемы:

$$U_{1-0} = U_{2-0} = U_{3-0} = U_{4-0} = U_{5-0} = U_{6-0}; \qquad (X.1)$$

$$U_{1-2} = U_{2-3} = U_{3-4} = U_{4-5} = U_{5-6} = U_{6-1}; \qquad (X.2)$$

$$U_{1-3} = U_{1-5} = U_{2-4} = U_{2-6} = U_{3-5} = U_{4-6}; \qquad (X.3)$$

$$U_{1-4} = U_{2-5} = U_{3-6}. \qquad (X.4)$$

Порядок чередовання фаз напряженнй возбуждення н сеточного регулировання проверяют фазоуказателем тнпа ФУ-2, прнсоедння его зажнмы к выводам фаз, отстающнм друг от друга на 120° (фазы 1—3—5 н 2—4—6).

Форму, велнчину и аснмметрию сеточных нмпульсов проверяют электронным осциллографом (тнпа ЭО-6, ЭО-7 н др.). На осцнллограмме фнкснруется форма крнвой сеточного нмпульса всех фаз поочередно. Прибором нзмеряют амплнтуды и крутнзну фронта, определяют шнрину пнков н отношенне амплнтуды их к велнчнне напряжения смещения. Если в форме н велнчнне сеточных импульсов нмеются отклонения, по аналнзу крнвых, наблюдаемых на экране осцнллографа, н схемы соединения устройства сеточного регулнрования делают заключенне о необходимости тех или иных переключений.

Сеточные импульсы очень удобно сравнивать с помощью двухлучевых осциллографов; можно пользоваться также коммутационной приставкой к однолучевому осциллографу, которая позволяет наблюдать одновременно две кривые.

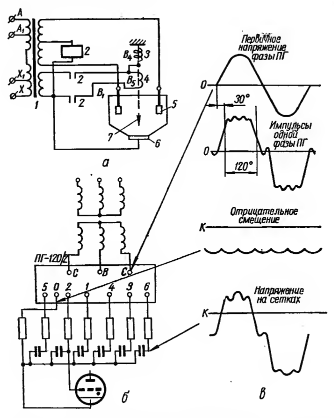


Рис. X.2. Схемы зажигания и возбуждения РВ (*а*) и сеточного регулирования (*б*):

1 — трансформатор возбуждения; *2* — контактор; *3* — пружина иглы зажигания; *4* — соленоид зажигания; *5* — анод возбуждения; *6* — катод; *7* — игла зажигания; *ТС* — сеточный трансформатор; ПГ-120/2 — пик генератор; *СС* — сеточные сопротивления; 0 — нулевая точка пик-генератора; *К* — катод; *КСК* — конденсатор сетка-катод; *ССМ* — сопротивление смещения.

Нормальная форма сеточных импульсов и их величина часто указываются в заводской документации (рис. X.2).

Настройку срабатывания реле отключения зажигания, включенного в цепь анодов возбуждения, желательно производить, заменяя

цепь дуги возбуждения эквивалентным сопротивлением. Сопротивление подбирают на номинальный ток цепи возбуждения $I_{в.\ ном}$:

$$R = \frac{20 \div 25}{I_{в.\ ном}} [ом]. \quad (X.5)$$

Обмотку реле включают через выпрямительный мостик. Ток срабатывания устанавливают равным 45—50% тока, протекающего по его обмотке в этом режиме.

5. Фазировка главных анодов с сетками и анодами возбуждения

После подключения всех цепей к РВ включают силовой трансформатор и на главные аноды подают напряжение (при выключенном зажигании). С помощью вольтметра, а для высоковольтных РВ и трансформаторов напряжения, проверяют правильность подачи фаз напряжения на соответствующие главные аноды. Проверка осуществляется аналогично проверке анодов возбуждения и сеток. Для фазных и междуфазных напряжений главных анодов в шестифазной схеме сохраняются соотношения (X.1) — (X.4). Для анодных напряжений, кроме того, справедливы соотношения:

$$U_{1-0} = U_{1-2} = U_{2-0} = U_{2-3} = U_{3-0} = U_{3-4} = \ \ldots; \quad (X.6)$$

$$U_{1-3} = \sqrt{3}U_{1-0} = \sqrt{3}U_{1-2} = U_{2-4} = \sqrt{3}U_{2-0} = \sqrt{3}U_{2-3} = \ \ldots; \quad (X.7)$$

$$U_{1-4} = 2U_{1-0} = 2U_{1-2} = U_{2-5} = 2U_{2-0} = 2U_{2-3} = \ \ldots . \quad (X.8)$$

Затем фазоуказателем, подключенным непосредственно или через трансформаторы напряжения к тем из главных анодов, напряжения между которыми сдвинуты на 120°, проверяют порядок чередования фаз.

Главные аноды с сетками фазируют в следующей последовательности.

1. С помощью фазовращателя устанавливают угол сдвига фаз, близкий к нулю.

2. Если напряжение главных анодов значительно (больше чем в два раза) отличается от величины сеточных импульсов, между одним из анодов и нулевой точкой включают потенциометр (делитель напряжения) или ТН. В последнем случае соответствующий вывод вторичной обмотки ТН соединяют с нулевой точкой, так чтобы направление векторов фазного напряжения РВ и вторичной обмотки ТН совпали.

3. Отключают трансформатор смещения.

4. Между движком потенциометра или фазным выводом вторичной обмотки ТН, с одной стороны, и поочередно между всеми сеточными электродами, с другой, включают вольтметр (желательно с большим внутренним сопротивлением).

На сетке, одноименной с выбранным анодом, вольтметр должен дать наименьшие показания. На двух сетках, соседних с первой, показания вольтметра по обе стороны должны быть бо́льшими и равными друг другу. Если показания не равны, следует изменить положение фазовращателя и повторить измерения. На следующих двух сетках напряжения также должны быть равны друг другу и быть больше, чем предыдущие. На последней сетке, диаметрально противоположной первой, напряжение должно быть самым большим (рис. X.3).

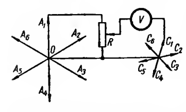


Рис. X.3. Фазировка сеток и анодов с помощью вольтметра и делителя напряжения ПТ.

5. Для проверки указанные операции следует повторить еще для одного-двух главных анодов. Сетки проще всего пересоединять со стороны питания сеточного трансформатора.

Главные аноды и аноды возбуждения одноанодных РВ следует фазировать тем же способом, что и сетки, добиваясь наименьшего фазового угла между анодным напряжением и напряжением одного из двух анодов возбуждения РВ. Для обеспечения постоянного горения дуги возбуждения ток ее должен отставать от тока главного анода на 60—90 электр. *град*. По отношению к своему напряжению ток возбуждения должен быть сдвинут на угол, близкий к 90°, за счет включения дросселей в цепь возбуждения.

Для многоанодных однобаковых РВ фазировка анодов возбуждения, как правило, существенного значения не имеет.

Очень удобна фазировка с помощью двухлучевого электронного осциллографа, на экране которого можно одновременно рассматривать кривые одного из анодных напряжений и поочередно напряжение всех сеток и анодов возбуждения. При этом легко подобрать напряжения, наиболее близкие по фазе.

6. Опробование системы зажигания и возбуждения и контроль за РВ при формовке и работе с нагрузкой

При опробовании системы зажигания и возбуждения РВ выполняются следующие операции.

1. Добиваются четкости работы зажигания как при нормальном, так и при пониженном напряжении путем правильного выбора вели-

чины балластного сопротивления в цепи зажигания. Понижение напряжения имитируется включением в цепь зажигания на время проверки дополнительного сопротивления, равного по величине 25—30% полного сопротивления всех последовательно включенных элементов этой цепи.

2. Проверяют надежность работы реле отключения зажигания.

3. Измеряют токи всех анодов возбуждения РВ.

4. В сомнительных случаях последовательно с дросселями в цепи анодов возбуждения включают на время опробования дополнительные регулируемые сопротивления, которые затем постепенно выводят. При этом контролируют токи анодов возбуждения и, если они больше допустимых, принимают меры к уменьшению их.

5. В стеклянных РВ контроль за дугой возбуждения осуществляется также и визуально. При хорошем вакууме дуга имеет сине-фиолетовый цвет, при ухудшенном — появляются оранжевые оттенки.

Предпусковая формовка РВ, выполняемая монтажной организацией согласно заводским инструкциям, не входит в объем наладочных работ.

Для некоторых типов РВ формовка заключается в поддержании длительного горения анодов возбуждения. Контроль за токами возбуждения РВ и дугой осуществляется так, как указано выше.

Если формовка производится током главных анодов в режиме к. з. (при пониженном напряжении), необходимо контролировать величину токов и равномерность распределения их между анодами. Величину

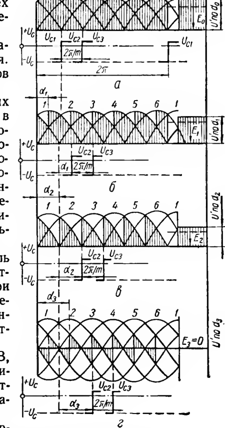


Рис. X.4. Кривые выпрямлениого напряжения при управлении сетками: *а* — $\alpha = 0$; *б* — $\alpha_1 = 30°$; *в* — $\alpha_2 = 60°$; *г* — $\alpha_3 = 90°$ (U_C — напряжение сетки; U'_{no}, $U'_{no}{}^{\alpha_1}$, $U'_{no}{}^{\alpha_2}$, $U'_{no}{}^{\alpha_3}$ — выпрямленное напряжение; E_0, E_1—E_3 — средние значения напряжения на анодах).

тока контролируют измерительными клещами переменного тока. Неравномерность токов не должна превышать 20% в начале формовки и 5% в конце ее. Распределение токов корректируют временным отключением перегруженных анодов; одновременно проверяют правильность включения анодных делителей.

С помощью токоизмерительных клещей контролируют распределение токов между анодами и при работе РВ на нагрузку, а также при параллельной работе двух или нескольких РВ.

Когда РВ работает с нагрузкой, необходимо проверить пределы и плавность регулирования напряжения с помощью сеточных устройств. Если отмечены отклонения от нормы, следует проверить фазировку, произвести пробное круговое переключение фаз напряжения главных анодов или сеток сначала в одну, а затем в другую сторону и повторить проверку пределов регулирования. В случае ухудшения регулирования необходимо восстановить первоначальное подключение и искать причину отклонения от нормы в устройстве сеточного регулирования.

Полную и наглядную картину работы анодов РВ можно получить, включив на его выход параллельно нагрузке электронный осциллограф. Примерные кривые выпрямленного напряжения при управлении сетками для различных углов сдвига фаз α приведены на рис. X.4.

7. Определение падения напряжения в дуге

Согласно ГОСТу 2329—62, падение напряжения в дуге для одноанодных вентилей не должно превышать значений, приведенных в табл. X.3. Для многоанодных вентилей падение напряжения должно быть не больше 20 *в*. Величина разброса падения напряжения в дуге для вентилей одного типа не должна превышать 2 *в*.

Таблица X.3

Падение напряжения в дуге, *в*

Номинальный ток вентиля, *а*	Максимальное значение обратного напряжения, *кв*			
	до 2,5	5	10	15
50 и 100	18	—	—	—
200 и 250	20	—	23	25
300	—	23	—	—
500	21	24	—	—
1000	23	—	—	—

ГОСТ 2329—62 предусматривает схему измерення падения напряжения в вентнле методом ваттметра (рис. X.5). Прн этом к элементам схемы предъявляются следующие требования.

1. Падеиие напряжения на полупроводниковом вентнле $Д_1$, включенном во вторнчную цепь ТТ, не должно быть больше 1 *в*.

2. Отношенне среднего тока первичной обмоткн ТТ к среднему току вторичной обмотки не должно отлнчаться от номннального коэффицнеита трансформацни ТТ больше чем на 3%.

3. При измереииях следует пользоваться амперметром магннтоэлектрической снстемы класса точностн 0,2—0,5.

4. Ваттметр должен нметь такие пределы нзмереиия: по току 2,5—5*а*, по напряжеиию 75—600 *в*. Прибор должен быть рассчитан для нзмереннй в цепях с коэффицнентом мощности 0,1—0,3 и экраинрован от внешннх электромагнитных полей.

Рис. X.5. Схема измерения падения напряжения в дуге РВ:
$R_ш$ — сопротивление, шунтирующее токовую цепь; $R_д$ — добавочное сопротивление ваттметра.

Падение напряжения в дуге $U_д$ по показаниям ваттметра и амперметра определяется из соотиошення

$$U_д = \frac{P}{I}\left(\frac{R_w + R_v}{R_w}\right) \; [в]. \qquad (X.9)$$

Здесь

$$R_w = R + R_д \; [ом], \qquad (X.10)$$

где R — сопротнвление обмоткн напряжения ваттметра;
$R_д$ — добавочное сопротнвленне ваттметра;
R_v — сопротнвленне, ограннчнвающее ток в полупроводииковом вентнле $Д_2$.

8. Снятие характеристик РВ

Регулировочная характеристика

Регулировочиая характернстика (рнс. X.6) — это завнсимость выпрямленного напряжения РВ U_d от угла фазного смещеиия напряження сеток α.

Прн снятии этой характерностикн выпрямнтель должен быть включеи на балластное сопротнвленне, обеспечнвающее протекание через РВ тока, равного 0,5—1% номинального.

Схема соединения	Наименование схемы соединения РВ и трансформаторов	Выпрямленное напряжение U_d	Вторичное напряжение трансформатора U_2
	Однополупериодное однотактное выпрямление	$0{,}45U_2$	$2{,}22Ud$
	Двухполупериодное однотактное выпрямление	$0{,}9U_2$	$1{,}11Ud$
	Двухполупериодное двухтактное выпрямление	$0{,}9U_2$	$1{,}11Ud$
	Трехфазная однотактная схема с нулевым выводом при соединении вторичной обмотки в звезду	$1{,}17U_2$	$0{,}855Ud$
	То же, при соединении вторичной обмотки в зигзаг	$1{,}17U_2$	$0{,}855Ud$
	Трехфазная двухтактная мостовая схема	$2{,}34U_2$	$0{,}427Ud$

Таблица X.4

чения РВ и их трансформаторов

Амплитудное значение обратного напряжения $U_{в\,макс}$	Выпрямленный ток I_d	Ток вторичной обмотки трансформатора I_2	Ток первичной обмотки трансформатора I_1	Анодный ток $I_в$	Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора P_1	Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора P_2	Типовая мощность трансформатора $P_т$
$3{,}14U_d$	$0{,}638I_2$	$1{,}57I_d$	$\frac{1{,}21}{K}I_d$	I_d	$2{,}69P_d$	$3{,}49P_d$	$3{,}09P_d$
$3{,}14U_d$	$1{,}27I_2$	$0{,}79I_d$	$\frac{1{,}11}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{2}}$	$1{,}23P_d$	$1{,}74P_d$	$1{,}48P_d$
$1{,}57U_d$	$1{,}11I_2$	$0{,}9I_d$	$\frac{1{,}11}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{2}}$	$1{,}23P_d$	$1{,}23P_d$	$1{,}23P_d$
$2{,}09U_d$	$1{,}73I_2$	$0{,}58I_d$	$\frac{0{,}47}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{3}}$	$1{,}21P_d$	$1{,}48P_d$	$1{,}34P_d$
$2{,}09U_d$	$1{,}73I_2$	$0{,}58I_d$	$\frac{0{,}47}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{3}}$	$1{,}21P_d$	$1{,}71P_d$	$1{,}46P_d$
$1{,}04U_d$	$1{,}23I_2$	$0{,}81I_d$	$\frac{0{,}82}{K}I_d$	$\frac{I_d}{2\sqrt{3}}$	$1{,}04P_d$	$1{,}04P_d$	$1{,}04P_d$

Схема соединения	Наименование схемы соединения РВ и трансформаторов	Выпрямленное напряжение U_d	Вторичное напряжение трансформатора U_2
	Шестифазиая однотактная схема при соеднинении вторичных обмоток в звезду	$1{,}35U_2$	$0{,}74U_d$
	То же, при соедннении вторичых обмоток в две обратиые звезды с разделительиой катушкой . .	$1{,}17U_2$	$0{,}855U_d$
	То же, при соединеиии вторнчиых обмоток траисформатора в двойиой зигзаг	$1{,}35U_2$	$0{,}74U_d$

Примечания.

1. При расчете напряжения U_d для ртутных выпрямителей следует учесть падение напря
2. K — коэффициент трансформации выпрямительного трансформатора.
3. P_d — отдаваемая выпрямителем мощность, $P_d = U_d I_d$.

Продолжение табл. X.4

Амплитудное значение обратного напряжения $U_{в\,макс}$	Выпрямленный ток I_d	Ток вторичной обмотки трансформатора I_2	Ток первичной обмотки трансформатора I_1	Анодный ток $I_в$	Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора P_1	Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора P_2	Типовая мощность трансформатора $P_т$
$2{,}1U_d$	$2{,}45I_2$	$0{,}41I_d$	$\frac{0{,}58}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$1{,}28P_d$	$1{,}81P_d$	$1{,}55P_d$
$2{,}1U_d$	$3{,}46I_2$	$0{,}29I_d$	$\frac{0{,}41}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$1{,}04P_d$	$1{,}48P_d$	$1{,}26P_d$
$2{,}1U_d$	$2{,}45I_2$	$0{,}41I_d$	$\frac{0{,}82}{K}I_d$	$\frac{I_d}{\sqrt{6}}$	$1{,}04P_d$	$1{,}79P_d$	$1{,}42P_d$

жения в дуге выпрямителя $\Delta U_д$, принимаемое равным 20—25 *в*.

Выпрямленное напряжеиие нзмеряют магннтно-электрнческим вольтметром класса точности 0,5; его контроль желательно осуществлять электроиным осциллографом.

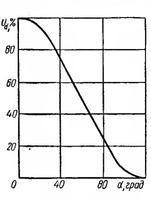


Рис. X.6. Регулировочная характеристика РВ $U_a = f(\alpha)$.

Угол фазиого смещеиия определяется лнбо как велнчииа, пропорциональиая углу поворота ротора электромашинного фазовращателя (для чего на валу укрепляется стрелка, а на статоре — шкала угловых градусов), либо иа осиоваиии даииых измерення входной величнны статического фазовращателя с последующим переводом ее в углы фазового смещеиия по характернстике фазовращательиого устройства (см. рис. X.1).

Внешняя (вольт-амперная) характеристика

Это — зависимость выпрямлениого иапряжения РВ от тока нагрузки его $U_\alpha = f(I_\alpha)$.

Ток и напряжеиие при сиятии характерпстики измеряют магинтио-электрическими приборами класса 0,5 (или 0,2). Если естественная иагрузка ие позволяет плавио измеиять ток РВ, иа время сиятия характеристики ои может быть включен на реостат (чаще всего водяной).

Примериый вид виешиих характеристик РВ, питаемых при соедииеиии вторичных обмоток траисформатора в две обратные звезды с уравнительным реактором и при соедиеннин их в двойиой зигзаг, приведен иа рис. X.7.

В табл. X.4 даиы иекоторые соотношения, характернзующие работу РВ н нх трансформаторов при различных схемах соедннения.

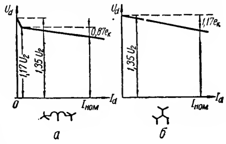


Рис. X.7. Внешиие характеристики РВ:
а — соединенне вторичных сбмоток выпрямительного трансформатора в две звезды с уравнительным реактором; *б* — соединенне в двойной зигзаг.

ГЛАВА XI

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Приемо-сдаточные испытания

Измерительные трансформаторы (кроме трансформаторов напряжения емкостного типа) испытывают в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-17.

У первичных обмоток трансформаторов изоляцию измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*; величину сопротивления изоляции не нормируют. Изоляцию вторичных обмоток измеряют мегомметром на напряжение 1000 *в*. Сопротивление изоляции вторичных обмоток не нормируют, но вместе с присоединенными к ним цепями оно должно быть не меньше значений, приведенных в ПУЭ, I-8-34.

Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции обмоток определяют для измерительных ТТ на напряжение 35 *кв* и больше, у которых оба вывода первичной обмотки рассчитаны на номинальное напряжение, а также для ТТ всех напряжений с основной изоляцией, выполненной из бумаги, бакелита или битуминозных материалов (табл. XI.1).

Таблица XI.1

Максимальные значения $tg\,\delta$ ТТ, %

Объект испытаний	Номинальное напряжение, *кв*		
	35	110	150—220
Маслонаполненные ТТ с бумажно-масляной изоляцией . . .	2,5	2	1,5
Трансформаторы тока с бакелитовой изоляцией	2,5	2	—

Приведенные в табл. XI.2 значения испытательного напряжения изоляции первичных обмоток не распространяются на измерительные трансформаторы с ослабленной изоляцией одного из выводов. Длительность приложения испытательного напряжения ТТ составляет 1 *мин*, если основная изоляция керамическая, и 5 *мин*, если она из органических твердых материалов или кабельных масс. Продолжительность испытания трансформаторов напряжения равняется 1 *мин*.

Таблица XI.2

Испытательное напряжение измерительных трансформаторов, *кв*

Номинальное напряжение, *кв*	Измерительные трансформаторы с нормальной изоляцией		Измерительные трансформаторы с облегченной изоляцией
	ТТ	ТН	
3	22	22	12
6	29	29	19
10	38	38	29
15	49	49	43
20	58	58	—
35	85	85	—
110	225	180	—
150	290	250	—
220	425	360	—

Изоляцию вторичных обмоток испытывают вместе с присоединенными к ним цепями напряжением 1 *кв*. Продолжительность приложения испытательного напряжения составляет 1 *мин*.

Ток холостого хода ТН измеряют на вторичной обмотке трансформаторов при номинальном напряжении; величину тока не нормируют.

Характеристики намагничивания сердечников ТТ снимают до номинального тока, если для этого не требуется напряжения больше 220 *в*. При наличии у обмоток ответвлений характеристику снимают на одном из ответвлений и сопоставляют с характеристиками однотипных исправных трансформаторов.

Полярность выводов (у однофазных) или группа соединений (у трехфазных) измерительных трансформаторов должна соответствовать паспортным данным.

Коэффициент трансформации на всех ответвлениях измеряют для встроенных ТТ, трансформаторов, предназначенных для учета электроэнергии, и трансформаторов, имеющих переключающее устройство (на всех положениях переключателя). Отклонение полученного значения коэффициента трансформации от паспортных данных не нормируется.

Сопротивление обмоток постоянному току измеряют для обмоток каскадных ТН и ТТ на напряжение 110 *кв* и больше.

Отклонение измеренного сопротивления обмотки на каждом положении переключателя от паспортных данных или от сопротивления обмоток других фаз должно быть не больше 2%.

У измерительных трансформаторов на напряжение 35 *кв* и больше трансформаторное масло испытывают в соответствии с ПУЭ, I-8-33, у трансформаторов на напряжение ниже 35 *кв* пробу масла не отбирают.

При неудовлетворительных результатах испытаний изоляции допускается полная замена трансформаторного масла.

Вводы трансформаторов испытывают, если они рассчитаны на полное номинальное напряжение и имеют основную изоляцию из волокнистых материалов или жидких масс (ПУЭ, I-8-31). $\operatorname{tg}\delta$ определяют при наличии у них вывода от измерительной обмотки.

При внешнем осмотре ТН проверяют следующее:

1) наличие паспортных данных трансформатора, а также соответствие их требованиям проекта;

2) правильность выполнения заземлений вторичных обмоток и нулевой точки обмоток ВН;

3) качество конструкций и монтажа, правильность установки автоматов и предохранителей во вторичных цепях;

4) качество и надежность конструкции блок-контактов, защиты их и кабельных разделок от повреждений и сырости, правильность и устойчивость регулировки передачи к блок-контактам от привода;

5) чистоту фарфоровых проходных изоляторов;

6) отсутствие трещин у изоляторов, утечки масла из бака трансформатора через уплотнения или трещины;

7) наличие масла в баке трансформатора (для масляных ТН).

2. Основные сведения о трансформаторах напряжения

Трехфазные трехобмоточные ТН (пятистержневые) имеют группу соединений звезда — звезда и третью обмотку, соединенную в разомкнутый треугольник (или на сумму фазных напряжений), которая служит фильтром напряжения нулевой последовательности и предназначена для питания защиты и сигнализации от замыканий на землю.

Чтобы получить напряжение нулевой последовательности, необходимо заземлять нулевую точку обмотки ВН пятистержневого ТН (рис. XI.1 и XI.2). Длительная работа ТН в условиях замыкания на землю допустима при первичном междуфазном напряжении, равном $1{,}1\ U_{\text{ном}}$.

Номинальное напряжение дополнительных вторичных обмоток, соединяемых в разомкнутый треугольник, подобрано так, чтобы максимальная величина напряжения $3U_0$ составляла примерно 100 *в* при междуфазном напряжении в сети, равном номинальному междуфазному напряжению ТН. Отклонение величины напряжения $3U_0$ от 100 *в* должно быть не больше $\pm 10\%$.

Сумма фазных напряжений трех фаз в нормальном режиме, а также при трех- и двухфазных к. з. равна нулю, следовательно, напряжение между выводами $A'_{\text{д}}$ и $X'_{\text{д}}$ будет равно нулю (практи-

чески имеется небольшое напряжение небаланса 0,5—2 *в*). При однофазном к. з. в сети с заземленными нулевыми точками силовых трансформаторов (сети 110—220 *кв*) фазное напряжение поврежденной фазы становится равным нулю, а сумма двух оставшихся фаз равна $U_{фаз}$.

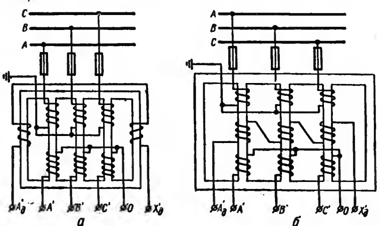


Рис. XI.1. Схемы соединений обмоток трехфазного пятистержневого ТН со специальной обмоткой, расположенной на дополнительных стержнях (*а*) и основных (*б*).

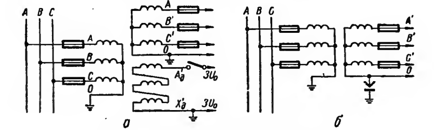


Рис. XI.2. Схемы включения трехфазных ТН:
а — трехобмоточный пятистержневой ТН с обмотками, соединенными по схеме звезда — звезда с заземленными нулевыми точками — разомкнутый треугольник. *б* — схема ТЭП.

Максимальное значение $3U_0$ примерно равно $U_{фаз}$, а номинальное напряжение дополнительной обмотки между $A'_д$ и $X'_д$ обычно составляет 100 *в*.

В сети с изолированными нулевыми точками силовых трансформаторов и генераторов или в компенсированной сети (35 *кв*

и меньше) прн однофазных к. з. напряженне неповрежденных фаз равно $3U_{фаз}$.

Макснмальное значенне $3U_0 = 3U_{фаз}$ и номннальное напряженне дополннтельной обмоткн между точкамн $A'_д$ н $X'_д$ будет $\frac{100}{3}$ *в*. Чтобы напряженне на реле не превосходнло 100 *в*, для сетей с нзолнрованными нулевымн точками выбнрают ТН, вторнчная обмотка которого соединена в разомкнутый треугольннк, а коэффнцнент трансформацнн повышен в трн раза, напрнмер, $K = \frac{6000}{100/3}$.

При снмметрнн первнчных напряженнй на ТН, работающем вхолостую, велнчнна напряження между концамн третьей обмоткн $A_д$ н $X_д$ не должна превышать 8 *в* (ГОСТ 1983—43).

На рнс. XI.1, *а* прнведена схема пятнстержневого трансформатора, у которого на крайннх стержнях сердечннка расположены специальные обмотки, соедннненные последовательно. В нормальном режнме н прн трех- н двухфазных к. з., пока сумма фазовых напряженнй равна нулю; магнитный поток в крайннх стержнях отсутствует, следовательно, на концах обмоткн $A'_д$ н $X'_д$ напряжения нет.

Прн однофазном к. з., когда сумма фазовых напряженнй не равна нулю, в крайннх стержнях появляется магннтный поток, который вызывает напряженне на выводах спецнальной обмоткн.

Схемы включения пятистержневых ТН

Трехобмоточные пятнстержневые трансформаторы включают по схеме, прнведенной на рнс. XI.2, *а*; трансформнруют напряження

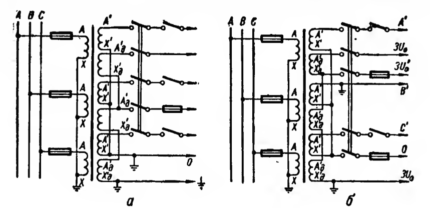


Рис. XI.3. Схемы включення однофазных ТН:

а — звезда — звезда с заземленными нулевыми точками — разомкнутый треугольник; *б* — звезда с заземленной нулевой точкой — звезда с заземленной фазой — разомкнутый треугольник.

междуфазные и фаза-земля, которые также дают напряжение нулевой последовательности. К концам обмоток разомкнутого треугольника включают реле защиты от однофазных замыканий и сигнализации при однофазном замыкании на землю.

На рис. XI.3 показана схема включения однофазных трехобмоточных ТН. Нуль обмоток ВН в этих схемах заземляется, и от трансформаторов, соединенных в звезду, могут быть получены как междуфазные, так и фазные напряжения. Дополнительные обмотки трансформаторов соединяют по схеме разомкнутого треугольника.

Для имитации аварийных режимов (однофазных замыканий на землю) путем исключения из схемы вторичной обмотки одной фазы к месту установки защиты от одной из замкнутых вершин треугольника подается специальный испытательный провод ($3U_0'$). Вывод рекомендуется делать от той вершины, к которой присоединена обмотка, соединенная другим концом с выводом $3U_0$.

У измерительных ТН с ослабленной изоляцией одного из выводов при включении под напряжение должно быть проверено наличие заземления вывода высоковольтной обмотки, изоляция которого не рассчитана на полное напряжение.

3. Включение и проверка цепей ТН

Заземление вторичных цепей

Вторичные обмотки ТН заземляют в одной точке для всей схемы вторичных цепей. Заземление должно быть надежным и наглядным; при этом следует предусмотреть возможность отсоединения заземления без отключения трансформатора. Сечение медного заземляющего провода должно быть не меньше 4 *мм*². Важно, чтобы заземление было жестко связано с обмотками трансформатора и не отделено от него предохранителями, рубильниками или блок-контактами разъединителей.

При соединении вторичных обмоток в треугольник или открытый треугольник заземляют одну из фаз. Вторичные обмотки, соединенные в звезду, заземляют двумя способами. В случае использования цепей напряжения для синхронизации заземляют фазу, соединяющуюся при синхронизации с заземленной фазой ТН, соединенного в треугольник или открытый треугольник (рис. XI. 3, *б*). Если цепи синхронизации отсутствуют, заземляют нулевую точку (рис. XI.2, *а* и XI.3, *а*).

Серьезным недостатком схемы с заземлением фазы является трудность осуществления контроля целости предохранителя в нулевом проводе. Поэтому во всех случаях, когда это возможно, предпочтение следует отдавать заземлению нулевой точки.

Предохранители устанавливают во всех незаземленных проводах.

Проверка ТН и его цепей при новом включении

Согласно инструкции (Союзглавэнерго, 1960), проверку ТН и их вторичных цепей при новом включении осуществляют в следующем объеме.

1. Осматривают трансформатор и его вторичные цепи.
2. Проверяют схемы, маркировку вторичных цепей и сопротивление изоляции.
3. Измеряют $tg\,\delta$ первичной обмотки и выводов.
4. Испытывают изоляцию первичной обмотки повышенным напряжением.
5. Измеряют ток холостого хода.
6. Проверяют полярность, схемы соединений ТН и аппаратуру контроля цепей напряжения и сигнализации.
7. Определяют ток к. з. во вторичных цепях и проверяют или выбирают предохранители и автоматы.
8. Определяют нагрузку ТН и потери напряжения во вторичных цепях.
9. Проверяют рабочим напряжением вторичные цепи трансформатора, чередование фаз и фазировку с другими ТН, вторичные цепи обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник.
10. Проверяют действие контроля цепей и сигнализации.
11. Производят сокращенный анализ трансформаторного масла.

4. Испытание ТН

Измерение $tg\,\delta$

При измерении тангенса диэлектрических потерь вводов первичных обмоток ТН имеется ряд особенностей, обусловленных большой индуктивностью обмоток.

Реактивный ток, протекающий через большую индуктивность, создает повышенное падение напряжения по сравнению с приложенным, что приводит к искажению получаемых результатов.

Для контроля состояния изоляции обмоток ТН может быть применена нормальная схема моста (см. гл. III) при закороченной обмотке НН.

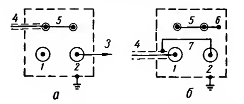
У маслонаполненных и других гигроскопических вводов $tg\,\delta$ измеряют по перевернутой схеме моста (см. гл. III). При этом проводят два перекрестных измерения с подачей высокого напряжения на один ввод, а экрана на второй, и наоборот (рис. XI.4).

Для оценки состояния изоляции вводов измеренное значение $tg\,\delta$ обмотки необходимо сравнить по нормальной схеме с каждым из перекрестных измерений. Если величина $tg\,\delta$ обмотки мала, а ввода

велнка, возможна дефектиость концевой изоляции нли обоих вводов. Это проверяют по измеиеиию токов утечки иа выпрямлеиием иапряженин и качеству масла.

Когда при нзмеренни $\operatorname{tg}\delta$ одного из вводов значнтельно превышает $\operatorname{tg}\delta$ другого, этот ввод дефектеи и тем больше, чем больше разность измерениых величин. В этом случае, если $\operatorname{tg}\delta$, измереиный по нормальной схеме, больше нзмеренного по перевериутой схеме, можно предположить плохое качество изоляцин обмоток.

Для вновь вводнмых вводов таигеис угла днэлектрнческнх потерь должеи находнться в пределах 1—3%.



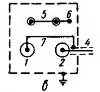


Рис. XI.4. Схемы измерения $\operatorname{tg}\delta$ ТН:

а — по нормальной схеме моста для контроля изоляцин обмоток; *б* и *в* — по перевернутой схеме моста для контроля качества вводов прн перекрестном измерении;
1 и *2* — изоляторы вводов ВН; *3* — провод к ВН; *4* — контур и провод к мосту; *5* — перемычка для закорачивания выводов вторичной обмотки; *6* — место соединения перемычки с корпусом ТН; *7* — перемычка между экраном и выводом конца обмотки.

Испытание ТН повышенным напряжением

Главиую нзоляцию обмоток и вводов ТН нспытывают, как н для снловых трансформаторов, по схеме, прнведенной на рнс. IX.21. Испытаиию подлежат все обмоткн, ие связаиные между собой электрически.

Сопротнвлеине нзоляцнн обмоток измеряют мегомметром, нспытание изоляции доступиых стяжных болтов н другне нспытания ТН осуществляют аиалогично испытаииям снловых трансформаторов (см. гл. IX). Изоляцию первнчиых н вторнчных обмоток ТН нспытывают вместе с цепями вторичной коммутацни на номинальное напряжеиие до 1 *кв*. Напряжение измеряют мегомметром на 1000 *в*. Продолжнтельность испытаиия 1 *мин*.

На время нспытання одной обмоткн ТН остальиые обмотки должны быть закорочены и заземлены.

После испытаиия главной нзоляцин ТН нспытывают нзоляцию витков при 130% $U_{\text{ном}}$ (напряжеине подводят обычио к обмотке НН); остальиые обмотки остаются разомкнутыми. Испытывать нзоляцию витков иапряженнем больше $1{,}3U_{\text{ном}}$ прн частоте 50 *гц* ие разрешается,

так как в этом случае индукция в стали возрастает до недопустимых пределов. Длительность испытания 3 *мин*.

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если во время испытания не было разрядов в баке, выделений газа, толчков и не увеличился ток испытуемой цепи.

Измерение тока холостого хода

Ток холостого хода измеряют при номинальном напряжении, которое подают во вторичную обмотку ТН по схемам, приведенным на рис. XI.5.

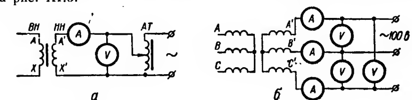


Рис. XI.5. Схемы для измерения тока холостого хода ТН:
а — однофазный ТН; *б* — трехфазный ТН.

Для трансформаторов с несимметричной магнитной системой (трехфазных трехстержневых) ток холостого хода определяют как среднее арифметическое суммы токов холостого хода всех трех фаз, поскольку у этих трансформаторов намагничивающий ток средней фазы меньше токов крайних фаз. Подводимое напряжение определяют как среднее арифметическое трех измеренных линейных напряжений (см. гл. IX).

Отклонение величины тока холостого хода ТН от заводских данных должно быть в пределах точности измерений. Для других трансформаторов ток холостого хода сопоставляется с результатами измерений по фазам или с данными однотипных исправных трансформаторов.

При определении тока холостого хода следует пользоваться амперметрами и вольтметрами класса не ниже 0,5.

Проверка полярности выводов ТН

Полярность выводов однофазного ТН определяют согласно схеме на рис. XI.6, *а*. Если при замыкании рубильника стрелка гальванометра отклонится вправо, выводы трансформатора обозначены правильно (как указано на схеме), если влево — неправильно.

Со сторон обеих звезд полярность выводов обмоток пятистержневого трансформатора проверяют по схеме, приведенной на рис. XI.6,*б*. Метод проверки такой же, как и для однофазных трансформаторов.

Одновременно проверяют правнльность обозиачения выводов обмоток. Для этого « — » батарен подключают к иулю, « + » — к выводу обмотки фазы *A* высокого напряжеиия, « — » гальваиометра — к нулю обмотки, « + » — на фазу *A'*. Если в момент включеиия рубильника стрелка гальванометра отклонится вправо, поляриость выводов первичной и вторичиой обмоток совпадает.

Затем поочередио переключают « + » батарен иа выводы с высокой стороиы на фазы *B* н *C* и соответствеино им « + » гальваиометра — иа выводы вторичных обмоток *B'* н *C'*. Если при повториом включеиии рубильника стрелка гальванометра отклонится вправо, поляриости совпадают, если влево, ие совпадают.

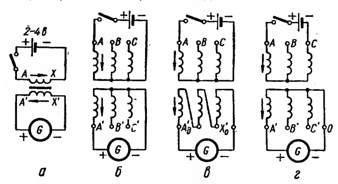


Рис. XI.6. Схемы проверки полярности и правильности обозначения выводов ТН:

а — однофазного трансформатора; *б* и *в* — пятистержневого трехфазного трансформатора; *г* — трехфазного двухобмоточного трехстержневого трансформатора (*G* — гальванометр с нулем по средине шкалы).

Поляриость выводов обмоток, соединеииых в группу звезда — разомкнутый треугольннк, проверяют согласно схеме на рнс. XI.6, *в* опнсаииым выше методом при подключеиии « + » батарен поочередио иа все три вывода обмотки ВН. Во всех случаях отклоиеиие стрелки гальванометра при правньиой поляриости должио быть вправо.

Поляриость выводов и правильиость их обозиачеиия для трехфазных трехстержиевых трансформаторов напряжеиия, соедииеииых по схеме звезда — звезда, определяют согласно схеме на рнс. XI.6, *г*. Обмотки ВН двух фаз соедиияют с батареей, вывод гальваиометра «—» присоедиияют к нулю, а вывод «+» — поочередно к выводам вторичных обмоток *A'*, *B'*, *C'*.

В момеит включеиия рубильиика стрелка гальваиометра может отклоияться в разиые стороиы: при включеини на вывод *A'* (см. схему иа рис. XI.6, *г*) и при правильной поляриости — вправо, при включении иа вывод *C'* — влево, при включении иа вывод *B'* стрелка

будет на нуле нлн немного отклоннтся в ту нлн другую сторону.

Описаиную выше проверку полярностн производят при включеннн батареи иа выводы *AB*, *BC*, *CA* (см. гл. IX).

Выбор плавких вставок предохранителей и уставок автоматов

Ток срабатываиия автомата прииимается в 1,2—1,5 раза больше максимальной иагрузкн ТН и в 2—3 раза меиьше минимального тока к. з. Номинальный ток плавкой вставки предохраиителя выбирается и проверяется расчетным путем (см. гл. XIV).

В цепях ТН предохранители выбирают так, чтобы было исключено перегорание их от тока иагрузкн. В результате перегораиия предохранителя исчезает напряжеиие на защите, что приводнт к ее ложиому действию. Во нзбежаиие этого защиту сиабжают блокнровкой. При перегорании предохраннтеля поступает сигнал об нсчезиовеиии иапряжеиия. Это дает возможиость контролировать исправиость соединительных проводов в цепях ТН. Схемы таких блокнровок и сигиализацин следует тщательио проверять.

Определение порядка чередования фаз и фазировки с другими ТН

Методика определення чередоваиия фаз и фазировки трансформаторов изложеиа в гл. IX. В дополиеиие следует учесть, что при проверке вторичных цепей ТН маркировку фаз этих цепей необходимо выполиить в соответствии с маркировкой первичной коммутации.

Измерение небаланса обмотки контроля изоляции

Небаланс обмотки контроля изоляцин трехфазных пятистержневых ТН измеряют при иоминальном напряжеиии, подводимом к первичной или вторичиой обмоткам. В обмотку разомкиутого треугольника включают вольтметр класса не ниже 0,5. Величина напряжения небалаиса ие должна превышать заводских даиных или быть больше 8% иапряжеиия на выводах разомкнутого треугольника (100 *в*).

Фазировка цепей разомкнутого треугольника пятистержневого ТН

При сборке разомкнутого треугольника можио допустнть ошнбку, поэтому после моитажа ТН иеобходнмо проверить правильность соединения обмоток.

Проверка выполняется путем фазировкн цепей разомкнутого треугольника со вторнчными обмотками того же ТН, соединенными в звезду.

На рис. XI.7 прнведены две возможные схемы соединення обмоток ТН в разомкнутый треугольиик.

Коиец разомкиутого треугольника фазы *C* заземляют у места установки ТН. Перед началом фазировки четыре вывода разомкиутого треугольника маркнруют, как показано иа рнс. XI.8, *а* (I—IV). Затем вольтметром измеряют напряжеиие между каждым выводом разомкнутого треугольиика и всеми остальиыми и нулевой точкой обмоток, соединенных в звезду (табл. XI.3).

Рис. XI.7. Схемы соединения разомкнутых треугольников.

На диаграмме (рис. XI.8, *б*) в масштабе строят звезду фазовых иапряжеиий обмоток, соединеиных в звезду, а затем определяют положеиие векторов иапряжеиия обмоток, соедииеииых в разомкиутый треугольиик. Построеиие иачииают с определеиия заземленного вывода разомкнутого треугольнника. Этот вывод обозначеи цифрой IV. Напряжение между иим и заземлеииой иулевой точкой обмоток, соединенных в звезду, равно нулю ($U_{IV-0} = 0$).

В некоторых случаях вольтметром ие удается определить заземлеииый вывод разомкнутого треугольиика, так как в соединнтельных

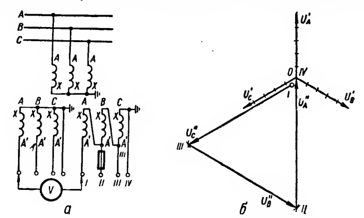


Рис. XI.8. Схема фазировки разомкнутого треугольника (*а*) и векторная диаграмма (*б*):
U' — вектор напряжения соединений в звезду; *U''* — вектор напряжения соединений в треугольник.

проводах, прнходящих с подстаицин, наводится иапряжение и показаине вольтметра не равно иулю. В связи с изложеииым вывод разомкнутого треугольника, заземленный на подстаицин, может быть определен прозвоикой.

Таблица XI.3

Результаты измерения напряжения между выводами разомкнутого треугольника и выводами обмотки, соединенной в звезду, в

Выводы обмотки, соединенной в звезду	Маркировка обмотки			
	I	II	III	IV
A'	60	164	130	60
B'	60	90	127	60
C'	60	90	40	60
0	2	100	100	0

После определения заземленного вывода IV приступают к построению на диаграмме точек I, II и III соответствующих выводов разомкнутого треугольника. Так, для определения положения точки III используют указанные в табл. XI.3 значения напряжения, измеренные вольтметром между выводом III и вершинами, а также нулевой точкой обмоток, соединенных в звезду (U_{III-0}, $U_{III-A'}$, $U_{III-C'}$).

На диаграмме (по направлению вектора $U_{C'}$) в масштабе величин напряжения, согласно данным табл. XI.3, циркулем делают три засечки: из точки 0 радиусом U_{III-0} (в нашем случае 100 *в*), из точки C' радиусом $U_{III-C'}$ (в нашем случае 40 *в*) и из точки A' радиусом $U_{III-A'}$ (в нашем случае 130 *в*). В точке пересечения трех дуг и будет находиться вершина III разомкнутого треугольника. Четвертое измерение $U_{III-B'}$ (в нашем случае 127 *в*) можно использовать для контроля правильности построения. Аналогично можно определить и две оставшиеся вершины разомкнутого треугольника: I и II.

Точки I—IV, положение которых определено на диаграмме, соединяют прямыми линиями, соответствующими направлениям векторов фазовых напряжений обмоток, соединенных в звезду, как указано на диаграмме. В разомкнутом треугольнике заземлен один вывод фазы (*C*; IV), очевидно, точки IV и III можно соединить прямой линией, параллельной вектору фазового напряжения U'_C.

Таким образом, вектор U''_{III-IV} определяет напряжение фазы *C* разомкнутого треугольника. Точно так же определяют векторы U''_{II-III} фазы *B* и U''_{I-II} фазы *A* разомкнутого треугольника. Построение диаграммы разомкнутого треугольника для схемы, приведенной на рис. XI.7, *а*, показано на рис. XI.8, *б*.

На диаграмме разомкнутого треугольника (см. рис. XI.8, *б*) выводы I и IV являются соответственно началом и концом разомкнутого треугольника. На панель защиты выводится также вершина II

разомкнутого треугольника, соединяющая конец обмотки фазы *A* и начало обмотки фазы *B*. Этот вывод, называемый испытательной жилой, используется при проверке реле направления мощности, защиты от замыканий на землю. Если на реле можно подать напряжение поочередно от двух ТН, осуществляется фазировка обоих разомкнутых треугольников со вторичными обмотками, соединенными в звезду, одного из ТН. При этом необходимо, чтобы векторные диаграммы обоих разомкнутых треугольников были одинаковыми.

Для проверки целости предохранителя, установленного в цепи испытательной жилы, измеряют напряжение между выводами II и концами разомкнутого треугольника.

5. Основные сведения о трансформаторах тока

Для включения реле и измерительных приборов вторичные обмотки ТТ соединяют в различные схемы. Наиболее распространенные из них приведены на рис. XI.9.

Сумма токов нагрузки, а также трех- и двухфазного к. з. равна

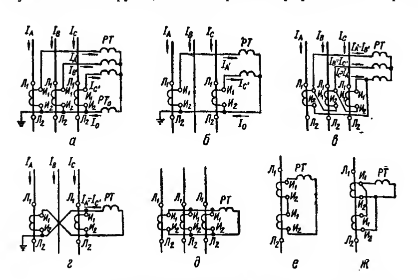


Рис. XI.9. Схемы соединения вторичных обмоток ТТ и обозначения маркировки их концов:

а — соединение в полную звезду; *б* — соединение в неполную звезду; *в* — соединение в треугольник (применяют для получения разности фазовых токов); *г* — соединение на разность токов двух фаз; *д* — соединение на сумму токов трех фаз; *е* — последовательное соединение вторичных обмоток двух ТТ одной фазы; *ж* — параллельное соединение вторичных обмоток двух ТТ одной фазы.

иулю, поэтому ток в реле PT_0 равеи иулю. Практически вследствие иесовпадеиия характеристик ТТ в реле протекает ток иебалаиса. При одиофазиом к. з. ток к. з. протекает только по поврежденной фазе, в связн с чем сумма токов ие равиа иулю и в реле течет ток к. з.

Приведениую иа рис. XI. 9, *д* схему примеияют для защиты от одиофазиых к. з. в сети с большим током замыкаиий иа землю, а также для сигиализации при замыкаиии иа землю в сети с малым током замыкания. Такие же результаты дает включенне реле в нулевой провод звезды (рис. XI.9, *а*).

На рис. XI.9, *е* показаиа схема последовательиого соедииеиия двух ТТ одиой фазы. При таком соедииеиии нагрузка распределяется между обоими ТТ поровиу. Эту схему широко применяют в маломощиых ТТ, встроеииых во вводы выключателей.

На рис. XI.9, *ж* показаиа схема параллельиого соедииеиия двух ТТ одиой фазы. Коэффициеит траисформации в такой схеме в два раза меиьше, чем у одиого ТТ. Это свойство используется для повышеиия мощиости встроеииых ТТ типа ТВ-35 с малыми коэффициентами траисформации: 50/5; 75/5; 100/5.

Вторичиая обмотка ТТ типа ТВ-35 с коэффициеитом траисформации, иапример, равиым $50/5 = 10$, должиа иметь всего десять витков (так как токопроводящий стержеиь ввода представляет собой одиовитковую первичиую обмотку). При таком малом количестве витков ТТ имел бы весьма малую мощиость. Для повышеиия мощиости ТТ выполияют с коэффициеитом траисформации, равиым ие 50/5, а 50/2,5, поэтому оии имеют 20 витков.

Благодаря удвоеииому количеству витков мощиость ТТ зиачительио возрастает, ио для получеиия стаидартиого коэффициеита траисформации, равиого 50/5, вторичные обмотки двух ТТ с $K_{TT} = 50/2{,}5$ соедииягот параллельио. Повышеиие таким путем мощиости вполие компеисирует удвоеиие иагрузки иа ТТ при параллельиом соедииеини вторичиых обмоток.

Параллельиое соедииеиие используют также для получеиия нестаидартиых коэффициеитов траисформации. Например, для получеиия $K_{TT} = 37{,}5/5$ соедииягот параллельио два стаидартиых ТТ с $K_{TT} = 75/5$.

6. Программа проверки ТТ

Согласно ииструкции по проверке траисформаторов, используемых в схемах релейиой защиты (Союзглавэиерго, 1960), при иовом включеиии ТТ и нх вторичиых цепей предусмотреиы следующие операции.

1. Осмотр и проверка схемы включеиия ТТ.

2. Проверка сопротивлеия и электрической прочиости нзоляции вторнчных обмоток ТТ и их цепей.

3. Проверка однополяриых зажимов первнчиой и вторичной обмоток ТТ.

4. Проверка характеристик намагннчнваиня.

5. Проверка коэффнциеитов траисформацни ТТ. Эта проверка обязательиа только для встроеиных ТТ; для остальиых ТТ эту проверку можио совмещать с проверкой схемы соеднненияя вторнчных обмоток первичным током от иагрузочиого устройства.

6. Проверка схемы соеднненияя вторичых обмоток н вторичных токовых цепей от нагрузочного устройства.

7. Измерение и расчетиое определеиие иагрузкн вторнчных обмоток ТТ (выполияется после окончаиия проверкн всех устройств, подключенных к даииым ТТ).

8. Расчетиая проверка пригодиости ТТ (по погрешностям).

9. Проверка схемы вторичых цепей первичым током нагрузки.

При плаиовых проверках выполняют указаиня пп. 1, 2, 4 и, при необходимостн, 8.

Если при осмотре и ремоите силового оборудоваиня разбнрают вторнчные цепи ТТ, дополиительио выполняют требоваиия пп. 3 н 5. При измеиеиии иагрузки ТТ иеобходимо выполннть требования пп. 6 и 7.

Плаиовые проверки ТТ должиы, как правило, выполияться в те же срокн, что и осмотры силового электрооборудоваиия. Для ТТ, иадежиость которых провереиа эксплуатацией, сроки между плановымн проверкамн допускается увелнчивать до 4—6 лет.

Проверка схемы включения ТТ

Перед установкой встроеиных ТТ нх иеобходимо тщательно высушить, а затем устаиовить согласно заводскнм надпнсям «верх» н «низ». Распорные клинья следует устаиавлнвать в местах, обозначенных заводом «клин». После устаиовкн ТТ, ио до залнвки в иих масла, иеобходимо проверить сопротивлеиие изоляцин мегомметром иа 2500 *в* и сиять характеристику иамагничивання.

У ТТ типа ТФН 35-220 *кв* (старых выпусков) разрядиики для защиты первичиой обмоткн иадо сиять, а коицы проводов от инх заизолнровать и тщательно закрепить. Для проверкн состояння выводов снимают ннжнюю крышку цоколя (тележки) н проверяют качество резьбы и затяжкн гаек на стержнях проходиых нзоляторов н выводов вторичных обмоток, качество замазкн, крепящей фарфоровые изоляторы в коробке. Еслн замазка отсырела, коробку с выводамн иужио снять, тщательно просушить и покрыть влагостойким лаком или краской (иапример ПХВ).

Прн осмотре ТТ тнпа ТФН необходимо проверить соедииення переключателя первичиой обмотки, а также убедиться, что неиспользуемые вторичиые обмотки закорочены.

Данные паспорта ТТ, сверенные с проектиыми даиными, виоеят в протокол испытаиия.

У ТТ с сердечниками *Д* и *З* проверяют комплектиость по заводским иомерам, а также количество мест устаиовки заземлеиия вторичиых обмоток.

Каждая группа электрнческн соединеиных вторичиых обмоток (незавнсимо от их чнсла) должна быть заземлеиа только в одиой точке. Заземлеиие устанавливается на панели защиты, или иа ближайшей к ТТ сборке зажимов. При этом должиа быть обеспечеиа возможность безопасиого отсоеднеиия и присоедииеиия заземлеиия без отключения высокого иапряжения.

Однонмениые выводы всех вторичных обмоток ТТ, питающих счетчики, допускается заземлять иепосредствеиио на фляиец траисформатора.

При проверке качества монтажа вторичиых цепей особое виимание следует обратить на защиту выводов вторичных обмоток встроеиных ТТ от попадаиня влаги и масла, а также надежность проводки от иих до сборки в приводе масляиого выключателя или отдельном ящике. Необходимо проверить, кроме того, качество разделок кабелей с бумажиой пропитанной изоляцией, которые должиы исключать вытекаиие пропиточиой массы и увлажиеиие изоляции кабелей.

Во время проверки схемы включения ТТ в первичиую цепь (см. рис. XI.9) они должиы быть включеиы так, чтобы вывод первичной обмотки $Л_1$ находился со сторpermalink стороиы шии. У шииосоедииительных выключателей вывод $Л_1$ должеи быть присоедииеи со стороны первой или рабочей системы шии. Вывод секционных выключателей $Л_1$ присоединяют со стороиы первой нли рабочей секции.

Прн проверке схем соединений вторичиых цепей ТТ фазовые провода присоединяют к выводам вторнчиых обмоток, однополяриым с выводамн первичных обмоток, соединеииых с шинамн. Обозиачают обмотки по наимеиоваиию фазы.

Испытание ТТ

Сопротивление изоляции нзмеряют для каждой обмоткн отиосительио корпуса при закороченных и заземленных других обмотках (рис. XI.10 н XI.11).

Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции первичных обмоток ТТ напряжением 35 *кв* и выше определяют одиим нз методов, указаииых в гл. III.

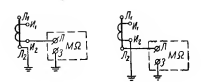


Рис. XI.10. Схема измерения сопротивления изоляции однообмоточного трансформатора тока (*MΩ* — мегомметр на 1000—2500 *в*).

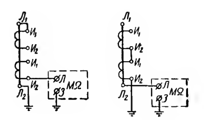


Рис. XI.11. Схема измерения сопротивления изоляции двухобмоточного трансформатора тока (*MΩ* — мегомметр на 1000—2500 *в*).

Испытание электрической прочности изоляции повышенным напряжением

Электрическую прочность изоляции обмоток ТТ относительно корпуса измеряют повышенным напряжением промышленной частоты после установки трансформатора на место.

Для первичных обмоток ТТ на номинальное напряжение 3—220 *кв* величину испытательного напряжения принимают согласно нормам, указанным в табл. XI.2. Методика проведения испытаний изложена в гл. III. Изоляцию первичных обмоток ТТ на номинальное напряжение до 1 *кв* и вторичных обмоток испытывают мегомметром на напряжение 1000 *в*. Продолжительность испытания 1 *мин*. Во время испытания изоляции одной обмотки другие должны быть закорочены и заземлены.

7. Проверка параметров ТТ

Полярность обмоток ТТ

Полярность зажимов обмоток ТТ проверяют постоянным током согласно схемам на рис. XI.12. Во вторичную обмотку ТТ включают гальванометр желательно с нулем на середине шкалы.

Рис. XI.12. — Схема проверки полярности обмоток ТТ (*V* — вольтметр типа М-55 на 3 — 0 — 3*в*).

Источник постоянного тока подключают «+» к первичной обмотке зажима $Л_1$. Если первичная и вторичная обмотки однополярны ($И_1$ соответствует $Л_1$), в момент замыкания ключа *П* стрелка гальванометра отклонится вправо, а в момент отключения цепи — влево. Когда первичная и вторичная обмотки не однополярны ($И_1$ не соответствует $Л_1$), в момент включения

ключа стрелка гальванометра отклонится влево, а в момент отключения цепи — вправо.

Полярность ТТ с двумя вторичными обмотками проверяют аналогично описанному выше способу для каждой вторичной обмотки отдельно при подаче постоянного тока в первичную обмотку.

Коэффициент трансформации

Во время проверки коэффициента трансформации устанавливают соответствие его номинальному значению (рис. XI.13, *а*). Для этого в первичную обмотку от нагрузочного трансформатора НТ подают ток, величина которого равна или близка к номинальному первичному току трансформатора, но не меньше 20% $I_{ном}$, и измеряют первичный ток I_1 и вторичный I_2.

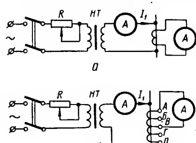
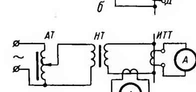
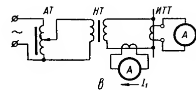




Рис. XI.13. Схемы для проверки коэффициента трансформации ТТ:
а — с реостатом *R* и нагрузочным трансформатором НТ; *б* — для встроенного трансформатора, с реостатом и НТ; *в* — для выносного и встроенного трансформаторов с АТ.

При проверке коэффициента трансформации в качестве нагрузочных трансформаторов можно использовать ТТ соседних фаз. Если измерение осуществляется согласно схеме, приведенной на рис. XI.13, *в*, коэффициент трансформации испытуемого трансформатора

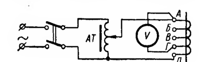


Рис. XI. 14. Схема для определения отпаек встроенных ТТ.

$$K_{ТТ} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{K_{ЛТ} I_{нз}}{I_2}, \qquad (XI.1)$$

где $K_{ЛТ}$ — коэффициент трансформации лабораторного ТТ;

$I_{нз}$ — ток, измеренный амперметром, включенным через лабораторный ТТ.

Погрешность трансформатора может быть определена по формуле

$$\gamma = \frac{K_{ном} - K_{из}}{K_{из}} 100, \quad (XI.2)$$

где $K_{ном}$ — номинальный коэффициент трансформации;

$K_{из}$ — измеренный коэффициент трансформации.

Коэффициент трансформации проверяют на обмотках и отпайках ТТ, имеющих вторичную обмотку с ответвлениями (рис. XI.13, *б*). У встроенных ТТ необходимо проверить маркировку всех ответвлений; в некоторых случаях ее следует производить даже заново. Последовательность маркировки такова (рис. XI.14). От АТ подают напряжение на два ответвления и вольтметром измеряют напряжение между ними. Максимальное напряжение будет между крайними выводами *А* и *Д*. Затем питание с АТ подают на концы обмоток *А* и *Д*. Напряжение устанавливают из расчета 1 *в* на виток. Номинальное число витков берут по заводским данным. Распределение напряжения по ответвлениям должно быть пропорционально известному числу витков. После этого поляромером определяют полярность выводов.

Ответвления встроенных ТТ проверяют или определяют также методом коэффициента трансформации или методом поляромера.

Метод коэффициента трансформации (пример). Трансформатор тока типа ТВ-160, встроенный в масляный выключатель МКП-160, имеет пять ответвлений. Надо определить эти ответвления, а также коэффициенты трансформации (300/5 или 600/5).

Проверка осуществляется по схеме, указанной на рис. XI.13, *б* в следующей последовательности.

Ответвления *А — Д* маркируют цифрами (*1—5*). В первичную обмотку подают ток 150 *а*. Амперметром измеряют вторичный ток между зажимами *1* и всеми остальными, между зажимом *2* и всеми остальными, кроме *1*, и т. д. Полученные значения тока и соответствующие им коэффициенты трансформации записывают в таблицу (табл. XI.4). Затем отыскивают наибольшее значение коэффициента трансформации, который, по данным табл. XI.4, получается между отпайками *3—5* (600/5). Таким образом, ответвления *3* и *5* являются концами вторичных обмоток *А* и *Д*; за начало принимается ответвление *3*. Из табл. XI.4 нужно взять значения вторичных токов и соответствующие им коэффициенты трансформации между ответвлением *3* и всеми остальными (табл. XI.5).

За начало принимают ответвление *5*. Тогда согласно данным табл. XI.4 берут значения вторичных токов и соответствующие им коэффициенты трансформации между ответвлением *5* и всеми остальными.

Таблица XI.4

Вторичный ток в обмотках и коэффициент трансформации

Выводы вторичной обмотки	Вторичный ток, *а*, при первичном токе 150 *а*	Коэффициент трансформации
1—2	7	100/5
1—3	2,4	300/5
1—4	7,1	100/5
1—5	2,3	300/5
2—3	3,4	200/5
2—4	3,3	200/5
2—5	1,8	400/5
3—4	1,9	400/5
3—5	1,35	600/5
4—5	3,2	200/5

Таблица XI.5

Вторичные токи и коэффициент трансформации ТТ

Ответвления	Вторичный ток, *а*	Коэффициент трансформации
3—2	3,4	200/5
3—1	2,4	300/5
3—4	1,9	400/5
3—5	1,35	600/5
5—4	3,2	200/5
5—1	2,3	300/5
5—2	1,8	400/5
5—3	1,35	600/5

Началом вторичной обмотки является то ответвление, при котором вторичные токи получаются большими, так как число витков вторичной обмотки уменьшается со стороны начала обмотки для компенсации намагничивающего тока.

Остальные ответвления определяют по данным табл. XI.5. Так, коэффициент трансформации 200/5 дает ответвление *2*, которое обозначается буквой *Б*, коэффициент трансформации 300/5 — ответвление *1*, обозначаемое буквой *В*, коэффициент трансформации 400/5 — ответвление *4*, которое обозначается буквой *Г*.

Коэффициент трансформации между зажимами имеет следующие значения:

Зажимы	Коэффициент трансформации
А—Б	200/5
А—В	300/5
А—Г	400/5
А—Д	600/5

Метод поляромера пригоден только при правильной установке встроенного ТТ соответственно обозначениям «верх» и «низ». Проверка осуществляется по схеме, указанной на рис. XI.12 в следующей последовательности.

Ответвления произвольно нумеруются (*1*, *2*, *3*, *4*, *5*). Гальванометр зажимом «+» присоединяют к ответвлению *1*, а зажимом «—» поочередно ко всем остальным и определяют знак отклонения гальванометра. Затем зажим «+» подсоединяют к ответвлению *2*, а зажим «—» — ко всем остальным и т. д.

Таблица XI.6

Полярность обмоток, определенная методом поляромера

Выводы вторичной обмотки, между которыми включается гальванометр	Маркировка ответвлений обмоток					Действительные обозначения отпаек
	1	2	3	4	5	
1	≡	—	—	+	+	*В*
2	+	≡	—	+	+	*Б*
3	+	+	≡	+	+	*А*
4	—	—	—	≡	+	*Г*
5	—	—	—	—	≡	*Д*

Из данных табл. XI.6 следует: ответвление *3* дает положительные отклонения со всеми остальными, т. е. оно является началом обмотки *А*; ответвление *5* дает отрицательные отклонения со всеми остальными обмотками, следовательно оно служит концом обмотки *Д*; ответвление *2* дает одно отрицательное и три положительных отклонения, значит это первое ответвление от начала (ответвление *Б*); ответвление *1* дает два отрицательных и два положительных отклонения, следовательно это второе ответвление от начала (ответвление *В*); ответвление *4* дает три отрицательных и одно положительное отклонение, т. е. это третье ответвление от начала, обозначаемое буквой *Г*.

Проверка коэффициента трансформации ТТ напряжением

При наладке и эксплуатации коэффициент трансформации ТТ проверяют от нагрузочных (или котельных) трансформаторов. Ток подводят к контактным зажимам первичной обмотки при закороченной на амперметр вторичной.

Если ТТ имеет большой коэффициент трансформации, требуются громоздкие нагрузочные трансформаторы, как правило, отсутствующие на станциях и подстанциях.

С минимальной затратой труда и времени коэффициент трансформации ТТ можно определить как отношение напряжения вторичной обмотки к напряжению первичной. Согласно теории трансформаторов, коэффициент трансформации практически можно определить по отношению напряжений при холостом ходе, так как при опыте холостого хода ток в обмотке мал и падение напряжения в ней ничтожно. Поэтому отношение напряжения вторичной обмотки к напряжению первичной $\frac{U_2}{U_1}$ практически равно отношению витков $\frac{w_2}{w_1}$.

Проверка таким способом совмещается со снятием вольт-амперной характеристики и не требует сборки специальной схемы и применения нагрузочных устройств. Напряжение питания подводят к вторичной обмотке ТТ. Индуктированное напряжение на зажимах первичной обмотки измеряют прибором, имеющим внутреннее сопротивление не меньше 20 *ом*. Для этой цели можно использовать приборы типа ВАФ-85, Д-523, Ц-315, Ц-356, миллиамперметры типа Э-59, АСТ 5-100 *ма* и др.

Если для определения напряжения используют миллиамперметры, величину напряжения рассчитывают как произведение сопротивления прибора на его показания.

Для определения коэффициента трансформации достаточно при снятии одной из точек вольт-амперной характеристики измерить напряжение на зажимах первичной обмотки:

$$K_{\text{ТТ}} = \frac{U_2}{U_1}. \quad \text{(XI.3)}$$

При снятии точки для определения коэффициента трансформации подводимое к зажимам первичной обмотки напряжение должно быть таким, чтобы железо ТТ не было в насыщенном состоянии, на что указывает величина тока вторичной обмотки.

Такая проверка целесообразна во всех случаях, так как позволяет заблаговременно определить коэффициент трансформации, что особенно важно для выносных ТТ, имеющих устройство переключения коэффициента трансформации на первичной стороне, и для встроенных ТТ с рядом отпаек.

В табл. XI.7 и XI.8 приведены данные, полученные при проверке коэффициента трансформации ТТ типа ТФНД (1500/5—300) и ТФНД-220 (600/5—120). Напряжение измеряли приборами Д-523/1 астатического типа; в других случаях напряжение измеряют прибором типа Ц-315.

Таблица XI.7

Характеристика ТТ типа ТФНД (1500/5—300)

Класс обмотки	Фаза								
	A (№ 1508)			*B* (№ 28)			*C* (№ 1583)		
	U_2, *в*	U_1, *в*	I_2, *а*	U_2, *в*	U_1, *в*	I_2, *а*	U_2, *в*	U_1, *в*	I_2, *а*
Д	120	0,40	0,085	120	0,40	0,11	120	0,40	0,115
Д	180	0,60	0,2	180	0,60	0,60	180	0,60	0,28
Д	240	0,797	> 10	240	0,79	> 10	240	0,79	> 10
0,5	120	0,40	3,7	—	—	—	—	—	—

Таблица XI.8

Характеристика ТТ типа ТФНД-220 (600/5—120)

Класс обмотки 0,5			Класс обмотки Д		
U_2, *в*	U_1, *в*	I_2, *а*	U_2, *в*	U_1, *в*	I_2, *а*
60	0,5	0,05	—	—	—
120	1,00	0,125	120	1,00	0,115
180	1,50	0,275	180	1,50	0,125
240	2,08	> 14,0	240	2,05	> 12,0

Данные табл. XI.7 и XI.8 подтверждают, что значения коэффициента трансформации, измеренного по напряжению, не отличаются от номинальных до тех пор, пока железо ТТ находится в ненасыщенном состоянии.

Снятие и проверка характеристики намагничивания

Характеристика намагничивания (вольт-амперная характеристика)

$$U_2 = f\,(I_{\text{ном}}) \qquad \text{(XI.4)}$$

является основной при оценке исправности и определении погрешностей ТТ (рис. XI.15 и XI.16).

Характеристики ТТ снимают при новом включении или полных плановых проверках (рис. XI.15 и XI.16). Для снятия характеристик рекомендуются схемы, приведенные на рис. XI.17.

Перед тем как приступить к снятию характеристик необходимо проверить мегомметром изоляцию ТТ (см. рис. XI.10 и XI.11), отсоединить от вторичных обмоток трансформатора вторичные цепи и защитное заземление (первичные обмотки должны быть разомкнуты). Перед испытанием ползунок АТ ставят на нуль (по схеме — в крайнее нижнее положение). Затем подают питание от сети переменного тока 110—220 *в* и, медленно подвигая ползунок, устанавливают минимальное напряжение, при котором можно снимать показания вольтметра и амперметра. После снятия показаний приборов напряжение увеличивают на 5—10 *в* и снова снимают показания. Испытание желательно начинать при напряжении не выше 10 *в*, а заканчивать при 100 *в*. Полученную таким образом характеристику сравнивают с типовой (для нового включения). При плановых проверках снятую характеристику сравнивают с характеристикой предыдущих испытаний.

Когда снятую характеристику $U_2 = f\,(I_{\text{нам}})$ сравнивают с типовой, ее следует перестроить на характеристику $E = f\,(I_{\text{нам}})$, отнимая от

ординат U_2 паденне напряжения во вторичной обмотке $\Delta U = I_{нам} Z_2$.

Еслн снятая характернстика выше тнповой, или совпадает с ней, зиачнт ТТ исправеи. Когда снятая характернстнка инже типовой, нужио строить вторую типовую характернстику, поииженную против первой иа 20%, уменьшая и ордиату и абсцнссу ($I_{нам}$ н E) ряда

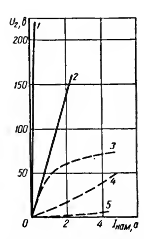


Рис. XI.15. Характеристики намагиичиваиия ТТ прн витковых замыкаиих (сплошиая линия — ТТ типа ТПШФ-10 5000/5*а*, пуиктириая — ТТ типа ТВ-35 300/5 *а*):

1 и *3* — исправный трансформатор; *2* — закорочен один виток; *4* — закорочены два витка; *5* — закорочены восемь вктков.

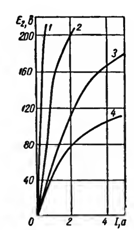


Рис. XI.16. Характеристика иамагиичивания ТТ различных типов и классов:

1 — ТОФ 600/5, класс 0,5; *2* — ТВД 400/5; *3* — ТВ 400/5; *4* — ТПОФ 600/5, класс 3.

точек, находящнхся в области насыщеиия, на 20% (рис. XI.18). Если же снятая характеристика иижe второй типовой, трансформатор ненсправеи.

Для встроеииых ТТ можио сиять характеристикн иа отпайках с малымн значеииями коэффицнента трансформацни. Тогда достаточно напряжения нсточника пнтаиия 380 *в* и даже 220 *в*.

Характеристику для рабочего ответвлеиия в этом случае можно получить, определяя для каждой точкн велнчину тока и иапряжения:

$$E' = E \frac{w'}{w} \text{ и } I'_{нам} = I_{нам} \frac{w}{w'}, \qquad (XI.5)$$

где E, $I_{нам}$ и w — соответственно э. д. с., ток намагничивания и число витков ответвления, на котором снимали характеристику; E', $I'_{нам}$ и w' — соответственно э. д. с., ток намагничивания и число витков рабочего ответвления.

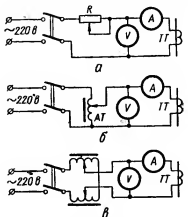


Рис. XI.17. Схемы снятия характеристики намагничивания (вольт-амперной характеристики):

а — с реостатом *R*; *б* — с АТ; *в* — с двумя АТ типа ЛАТР-2; (*A* — амперметр типа Э59 на 0—2,5—5*а*; *R* — реостат на 30 *ом*, 5*а*; для схем «*а*» и «*б*» используется вольтметр типа Э59 на 0—150—300 *в*, для схемы «*в*» — вольтметр типа Э59 на 0-600 *в*; для тока 50—100 *а* НТ может служить котельный трансформатор).

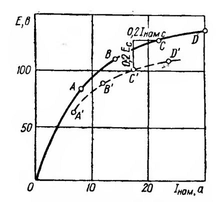


Рис. XI.18. Графическое построение характеристик намагничивания ТТ типа ТВД-274, 200/5*а*:

1 — типовая характеристика; *2* — характеристика, сниженная на 20% против типовой.

Снятую характеристику $U_2 = f(I_{нам})$ предварительно перестраивают на характеристику $E = f(I_{нам})$.

На рабочем ответвлении встроенного трансформатора характеристику намагничивания следует снимать до значения тока

$$I_{нам} = \frac{0{,}1 I_{к.з.\ макс}}{K_{ТТ}}. \qquad (XI.6)$$

Однако в некоторых случаях для снятия характеристики до указанного значения потребуется относительно высокое напряжение источника питания.

Когда напряжение источника питания должно быть порядка 500 *в*, применяют схему, указанную на рис. XI.17, *в*. Если же напряжение 500 *в* недостаточно, то следует применить схему, приведенную на рис. XI.17, *б*, добавляя повысительный трансформатор на 2—3 *кв*, который допускает кратковременную нагрузку на обмотку ВН до 3—5 *а*.

У трансформатора большой мощности с напряжением 154/35/6 *кв*, вольт-амперную характеристику ТТ, встроенных в вводах со стороны 154 *кв*, можно снимать с помощью небольшого водяного реостата. Подачу напряжения однофазного тока, подаваемого на ввод со стороны 6 *кв*, регулируют от 0 до 220 *в*, а снимаемое напряже-

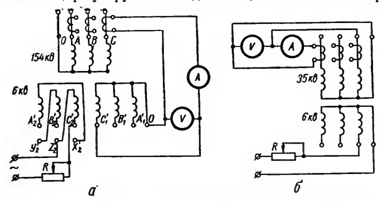


Рис. XI.19. Схема для определения вольт-амперной характеристики трехобмоточного трансформатора (*а*) и двухобмоточного (*б*).

ние со стороны 35 *кв* подают на испытуемый встроенный ТТ ввода 154 *кв* (рис. XI.19,*а*).

Если ТТ встроены во вводы двухобмоточного трансформатора на 35/6 *кв*, для снятия вольт-амперной характеристики ТТ, встроенных во вводах 35 *кв*, регулируемое однофазное напряжение необходимо подать с помощью водяного реостата на ввод 6 *кв*, а снимаемое напряжение с фазы 35 *кв* — поочередно на ТТ, встроенные в чужие две фазы и т. д. (рис. XI.19, *б*).

Используя в качестве нагрузочного устройства силовой трансформатор, можно испытывать не только встроенные ТТ.

При определении полярности встроенных ТТ во вводах (например, во вводах 154 *кв* силового трансформатора на 154/35/6 *кв*) вводы обмоток 35 и 6 *кв* необходимо закорачивать и заземлять.

У каскадных ТТ типа ТФНК-400, состоящих из двух ступеней, при новом включении характеристику намагничивания следует снимать отдельно для каждой ступени. Для этого вторичную обмотку верхней ступени и первичную обмотку нижней необходимо разъединить. При плановых проверках характеристики снимают только для нижней ступени, не отсоединяя верхнюю.

Для оценки исправности ТТ во всех случаях можно ограничиться снятием характеристики до начала насыщения (5—10 *а*). Ток и

напряжеиие следует нзмерять только электромагиитнымн н электродинамнческнми прнборами, применение полупроводннковых приборов не допускается. При снятни характеристики намагничиваиия следует нзбегать подачи напряжеиня на ТТ толчком.

Проверка ТТ на отсутствие к. з. витков во вторичной обмотке

Прн иаладке электрооборудования и периодически во время эксплуатации ТТ проверяют иа отсутствие к. з. витков путем сиятия вольт-амперных характеристик (рис. XI.20). Если число замкнувшихся внтков во вторичой обмотке иевелико, иаличие к. з. внтков иельзя выявить по этим характеристикам. В связи с этим при сиятии вольт-амперной характеристики (рис. XI.21) следует включить одиофазный ваттметр, которым определяют потери мощности во вторичной обмотке ТТ. Указаииые потери дают возможность выявить наличне даже одного илн двух к. з. внтков. Для нзмереиия мощиостн нспользуют ваттметр типа АСТД с выводом на 1000 *ом* или другой, ему равноцениый. Желательио пользоваться ваттметром, рассчитаниым для измереннй при малых значениях cos φ.

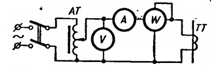


Рис. XI.20. Схема включеиия ваттметра для определеиия отсутствия к. з. витков вторичной обмотки ТТ.

Рассмотрим, как производят измерения по указаииому выше методу.

Предположим, необходимо проверить ТТ тнпа ТПФ-10, класса 1, (заводской № 3000) на отсутствие витковых замыкаиий во вторичной обмотке. Для нзмерення иеобходнмых величнн нспользуют следующие приборы: амперметр типа АСТ-0,5—1 *а*, 100 дел., вольтметр типа АМВ иа 7, 5; 15; 30; 60 *в*, 150 дел., ваттметр тнпа АСТ-Д на 5 *а*, 150 н 30 *в*, 150 дел.

Измерения прозводят по схеме, приведеииой иа рис. XI.20. Результаты нзмереиий запнсывают в таблнцу (табл. XI.9). По получеииым результатам строят графики вольт-амперной характеристики и характеристнки мощностн (рис. XI.21).

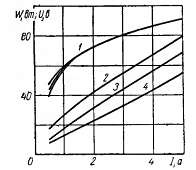


Рис. XI.21. Построение графиков вольт-амперной характеристики и характеристики мощности:
1 — вольт-амперная характеристика прн отсутствин к. з. витков и наличии одного или двух таких внтков; *4*, *3* и *2* — характеристики мощности соответственно прн отсутствии к. з. витков и при наличии одиого и двух таких витков.

Таблица XI.9

Значение напряжения и мощности при замыкании витков вторичной обмотки ТТ

Количество к. з. витков	Ток, *а*					
	0,5	1	2	3	4	5
Без к. з. витков:						
U, *в*	47	60	73	80,5	86,5	91
P, *вт*	8	13,5	23	33	43	55
Один к. з. виток:						
U, *в*	44	60	73	81	86,5	91
P, *вт*	10	18,5	30	42	57	68
Два к. з. витка:						
U, *в*	39	58	72,5	80,5	86,5	91
P, *вт*	12	24,5	39	57	65	78

Согласно рис. XI.21, при одном к. з. витке вторичной обмотки потери мощности увеличились на 24% по сравнению с номинальным режимом (68—55 = 13 *вт*; 1300 : 55 = 24%), при двух таких витках — на 42%.

Наличие одного или двух к. з. витков можно установить по характеристике мощности. Вольт-амперная характеристика при таком же количестве к. з. витков почти не изменяется по сравнению с характеристикой в нормальном режиме. По вольт-амперной характеристике можно определить наличие больше чем двух закороченных витков вторичной обмотки ТТ.

8. Экспериментальное определение нагрузки на ТТ

При определении сопротивления нагрузки на ТТ, если питание осуществляется от постороннего источника тока, пользуются схемами, приведенными в табл. XI.10.

От постороннего источника переменного тока через регулирующее устройство любого типа (реостат, АТ, потенциометр) подают ток I в каждую пару проводов, идущих от ТТ к панелям защиты и измерительных приборов, и измеряют напряжение между этими проводами U. Сопротивление нагрузки, включая соединительные провода и кабеля:

$$Z = \frac{U}{I}. \qquad (XI.7)$$

В табл. XI.10 приведены наиболее часто встречающиеся схемы и формулы для определения сопротивления нагрузки по данным измерений.

Таблица XI.10

Определение сопротивления нагрузки по данным измерения

Схема	Измеренные величины	Формулы для определения сопротивления
	I; $U_{A'B'}$; $U_{B'C'}$; $U_{C'A'}$	$Z_{A'} = \frac{U_{A'B'}-U_{B'C'}+U_{C'A'}}{2I}$; $Z_{B'} = \frac{U_{B'C'}-U_{C'A'}+U_{A'B'}}{2I}$; $Z_{C'} = \frac{U_{C'A'}-U_{A'B'}+U_{B'C'}}{2I}$
От АТ реостата или потенциометра	I; $U_{A'0}$; $U_{B'0}$; $U_{C'0}$	$Z_{A'0} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{B'0} = \frac{U_{B'0}}{I}$; $Z_{C'0} = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$; $U_{C'0}$; $U_{0A'}$	$Z_{A'} = \frac{U_{A'C'}-U_{C'0}+U_{0A}}{2I}$; $Z_{B'} = \frac{U_{C'0}-U_{A'B'}+U_{A'C'}}{2I}$; $Z_0 = \frac{U_{0A'}-U_{A'C'}+U_{0A'}}{2I}$; $Z_{A'C'} = \frac{U_{A'C'}}{I}$; $Z_{A'0} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{C'0} = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$	$Z_{A'C'} = \frac{U_{A'C'}}{I}$

Таблица XI.11

Определения сопротивления ТТ в режиме нормальной работы

Схема измерения	Измеренные величины	Формула для определения сопротивления
	I; $U_{A'0}$; $U_{B'0}$; $U_{C'0}$ I; $U_{A'B'} = U_{B'C'} = U_{C'A'}$	$Z_{A'} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{B'} = \frac{U_{B'0}}{I}$; $Z_{C'} = \frac{U_{C'0}}{I}$; $Z_{A'} = Z_{B'} = Z_{C'} = \frac{U_{A'B'}}{\sqrt{3} I}$
	I; $U_{A'0}$ I; $U_{B'0}$ I; $U_{C'0}$	$Z_{A'} + Z_0 = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{B'} + Z_0 = \frac{U_{B'0}}{I}$; $Z_{C'} + Z_0 = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$	$Z_{A'C'} = \frac{U_{A'C'}}{I}$

Перед измерением снимают заземления вторичных обмоток ТТ. Схема вторичных цепей должна быть полностью собрана, а обмотки всех ТТ отключены.

Величина тока при измерениях устанавливается примерно 5*а*; для точности допустимо измерять напряжение при большем токе, ограничивая длительность его протекания.

В режиме рабочей нагрузки для определения сопротивления Z пользуются схемами, приведенными в табл. XI.11. Для этого изме-

ряют велнчииы тока и падеиия иапряжения в нагрузке вторичой обмотки ТТ.

Вольтметр следует включать как можно ближе к ТТ. Еслн необходимо определнть сопротивлеине панели защнты н кабелей, в первом случае нзмеряют напряженне на входе панелн, а во втором случае на входе паиели устанавлнвают перемычку. В остальиом схемы измерений н расчетиые выраження ие изменяются по сравиеиию с прнведенными в табл. XI.11.

Для днфференциальиых защнт перемычку следует ставнть иа входе панелн, чтобы исключить сопротнвлеиие реле н другнх плеч защиты.

9. Кабельные ТТ нулевой последовательности

Кабельный ТТ без подмагничивания с кольцевым сердечником

Трансформатор тока нулевой последовательиости (ТНП) состонт из стального сердечиика *1*, с иамотанной вторнчной обмоткой *2*. Сердечннк иадевают на трехфазиый кабель защищаемой лииин *3*, который и является первнчной обмоткой трансформатора (рнс. XI.22).

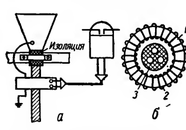


Рис. XI.22. Схемы кабельиого ТТ нулевой последовательиости с кольцевым сердечником:
а — установка трансформатора на кабельной линии; *б* — вид сверху (разрез по ТТ).

Коэффициент трансформацни таких трансформаторов не завнснт от первнчиого тока, поэтому чнсло внтков вторичиой обмоткн подбирают так, чтобы можио было получить наибольшую чувствнтельность.

Для защиты от замыканий иа землю кабельиых линий ТНП нзготовляют либо со сплошным сердечинком тнпа ТЗ илн с разъемиым сердечинком типа ТЗР и ТФ. При устаиовке такого ТТ вороику кабеля тщательио изолнруют от броии кабеля — земли, а заземляющий провод пропускают через виутреннее отверстие ТТ.

Если бы вороика была заземлеиа иепосредствеиио в месте ее креплеиня, защнта могла бы иеправнльио действовать от токов, протекающих по броне и свинцовой оболочке кабеля прн замыкаиин на землю иа другом кабеле. Прн указаниом способе заземлення ток, подтекающий к вороике по броие кабеля, уходнт по заземляющему проводу в протнвоположном направленни н, следовательно, его суммарное действие равио иулю.

Основные требования, предъявляемые при наладке ТНП с подмагничиванием

Для предотвращения возникновения опасных токов небаланса от посторонних магнитных полей ТНП устанавливают на расстоянии не меньше 0,7 *м* от концевых кабельных воронок у выводов генератора, а ближайшие участки ошиновки удаляют от ТНП не меньше чем на 1,5—2 *м*.

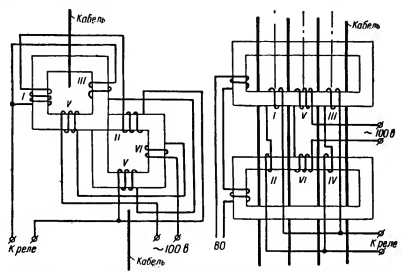


Рис. XI.23. Принципиальная схема ТНП с подмагничиванием:
слева — трансформатор на один-два кабеля (тип ТНП-2); справа — трансформатор на число кабелей от 4 до 16; I — IV — вторичные обмотки; V, VI — обмотки подмагничивания.

Во всех случаях кабели укрепляют симметрично относительно центра окна ТНП. Стальные детали крепящей конструкции удаляют от корпуса ТНП не меньше, чем на 40—50 *мм* (допускается установка ТНП в любом положении).

Перед восстановлением схемы соединения обмоток (рис. XI.23 и XI.24) проверяют маркировку концов секций и правильность их включения. Однако при этом нет необходимости определять полярность концов секций постоянным током, как на обычных ТТ. Для этого в любом месте магнитопровода ТНП размещают вспомогательную обмотку (ВО), состоящую из нескольких витков, по которым проходит переменный ток 4—5 *а* (рис. XI.23).

При правильном последовательном соединении двух соответствующих секций вторичной обмотки разных магнитопроводов (например, секций I—II) и включении их на прибор стрелка откло-

интся от иуля, прн иеправильном — стрелка не будет отклоняться; отклонеиие ее в этом случае возможио только при ошибочиом выполнеиин секций с иеодинаковым числом внтков. Таким же способом проверяют выполнеиие и соедниеиие второй пары секций, III—IV. Затем обе пары секций включают параллельио; при этом показаиие прибора ие должно измеияться.

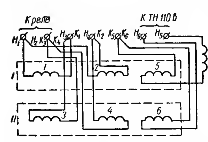


Рис. XI.24. Схема расположения зажимов и маркировки концов обмотки кабельных ТНП:

I и II — обмотки соответственио верхнего и нижнего магнитопровода; 1 — 4 — вторичные обмотки; 5 и 6 — обмотки подмагничивания.

Аналогичио проверяют соедииение секцнй обмотки подмагиичивания V—VI. В отличие от вторичиой обмотки при правнльиом включении этих секций стрелка прибора не должна заметно отклоняться. Секции всех обмоток соедиияют иа зажимах, установлеиных на щитке ТНП.

После соедннення обмоток по нормальной схеме (рис. XI.23) проверяют и регулнруют величнну э. д. с. иебаланса от тока подмагничиваиия (э. д. с. более наглядио характеризует качество ТНП,

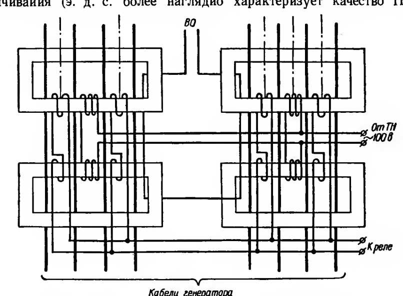


Рис. XI.25. Схема включения двух групповых кабельных ТНП.

чем вторичный ток небаланса). Для этого в цепь подмагничивания включают переменный ток с нормальным напряжением 100—110 *в*, а на вторичную обмотку — милливольтметр с большим сопротивлением. Регулируя число витков одной из секций обмотки подмагничивания, снижают величину э. д. с. небаланса (до 150 *мв*). После окончания регулировки дополнительные витки пропитывают изоляционным лаком и защищают от механических повреждений.

Когда параллельно включают два групповых ТНП, испытание проводят аналогично описанному выше. Вспомогательная испытательная петля первичного тока (рис. XI.25) последовательно проходит через оба ТНП.

После проверки идентичности магнитопроводов каждого ТНП цепи подмагничивания обоих ТНП включают параллельно; полярность включения выбирают такой, чтобы напряжение небаланса от подмагничивания было наименьшим.

Основные требования при установке шинных ТНП

Внешним осмотром и прозвонкой шинного ТНП проверяют исправность всех цепей, наличие маркировки концов обмоток и перемычек между зажимами (рис. XI.26).

ТНПШ устанавливают на расстоянии не меньше чем 0,5 *м* от ближайших стальных блоков, ограждающих коробов и др. Угольники или швеллеры, на которых укреплен трансформатор, крепят на расстоянии 40—50 *мм* от магнитопроводов. Пакет шин укрепляют симметрично относительно центра окна магнитопроводов.

Для ограничения токов небаланса отходящие от ТНПШ шины располагают так, чтобы средняя фаза *B*, не считая ее участка, находящегося на оси ТНПШ, оказалась не ближе 60—70 *см* от магнитопровода. Посторонние участки ошиновки удаляют от ТНПШ на расстояние 1,0—1,5 *м*.

По основной схеме (см. рис. XI.26) к ТНПШ подводят следующие провода.

1. Вторичная цепь — три провода (один общий и по одному к каждой секции обмотки). После наладки защиты один из этих проводов остается неиспользованным. В случае параллельного

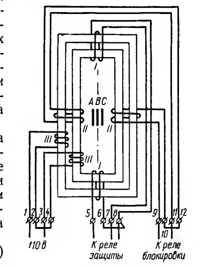


Рис. XI.26. Схема устройства трансформатора ТНПШ:

A, *B*, *C* — шины трех фаз первичной цепи; I — I — вторичные обмотки; II — II — блокировочные обмотки; III — III — обмотки подмагничивания.

включения обеих секций ставится дополнительная перемычка между зажимами 5—7.

2. Провода подмагничивания — два провода.

3. Блокировка — два провода.

Испытание изоляции

Сопротивление изоляции ТНПШ (отдельно от генератора) испытывают при каждом капитальном ремонте, после каждого отключения генератора защитой, в случае резкого понижения общего сопротивления изоляции генератора и ТНПШ, перед включением генератора, находящегося в резерве более десяти суток, при приемо-сдаточных испытаниях и испытаниях перед монтажем.

После остановки ТНПШ вместе с генератором испытывают по нормам, установленным для генераторов. Изоляцию ТНПШ, отсоединенного от генератора, испытывают в холодном состоянии. Сильно увлажненные ТТ испытывать повышенным напряжением опасно.

Изоляцию вторичных, блокировочных и подмагничивающих обмоток испытывают по общим правилам, установленным для цепей вторичной коммутации.

ГЛАВА XII

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ПРИВОДЫ К НИМ

1. Объем и нормы приемо-сдаточных испытаний

Масляные выключатели

Полностью собранные и отрегулированные масляные выключатели должны быть испытаны в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-18.

Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей выключателей, выполненных из органических материалов измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*. Это сопротивление при номинальном напряжении выключателя 3—10 *кв* должно быть 1000 *Мом*, при 15—150 *кв* — 3000 и при 220 *кв* — 5000 *Мом*.

Вводы выключателей испытывают в соответствии с ПУЭ, 1-8-31. При измерении $\operatorname{tg}\delta$ вводов после установки их на выключатель должна учитываться возможность повышения измеренной величины по сравнению с нормированной.

Состояние внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств баковых масляных выключателей напряжением 35 *кв* оценивают тогда, когда тангенс угла диэлектрических потерь вводов повышен. Внутрибаковая изоляция подлежит сушке в том случае, если исключение влияния этой изоляции снижает величину $\operatorname{tg}\delta$ вводов больше чем на 4—5%.

Значения испытательного напряжения промышленной частоты приведены в табл. XII.1. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

Таблица XII.1

Испытательное напряжение для масляных выключателей, *кв*

Номинальное напряжение, *кв*	Нормальная изоляция	Облегченная изоляция
3	22	12
6	29	19
10	38	29
15	49	43
20	58	—
35	85	—
110	225	—
150	290	—
220	425	—

Сопротивление постоянному току контактов измеряют для контактной системы фазы и каждой пары рабочих контактов масляных выключателей (табл. XII.2). Значения сопротивления постоянному току обмоток включающей и отключающей катушек должны соответствовать заводским данным.

Таблица XII.2

Предельные значения сопротивления контактов масляных выключателей постоянному току

Тип выключателя *	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Предельное сопротивление контактов выключателя, *мком*	
			всей контактной системы фазы выключателя	элементов контактной системы
МКП-220	220	600	1200 (с вводами) 600 (без вводов)	Одна камера 260
МКП-110 (с киритовыми пластинами)	110	600	1600	Одна камера 540
МГ-110	110	600	700	—
ВМ-35, ВМД-35	35	600	550	—
МКП-35	35	600—1000	300	—
МГ-35	35	600	250	—
МГГ-223, МГГ-10	6—10	2000	30	250 (дугогасительные контакты)
МГГ-229	6—10	3000	20	
МГГ-529, МГГ-20	20	2000 3000	30 20	250 (дугогасительные контакты)
ВМГ-133	6—10	400—600	100	—
ВМГ-133	10	1000	75	—
МГ-10	10	5000	10	300 (дугогасительные контакты)
МГ-20	20	6000	15	
ВМП-10, ВМП-10К . . .	10	600	55	—
ВМП-10, ВМП-10К . . .	10	1000	40	—
ВМП-10, ВМП-10К . . .	10	1500	30	—
ВМБ-10	3—10	600	150	—
ВМБ-10	3—10	1000	100	—

* Для остальных типов выключателей сопротивление постоянному току контактов устанавливается путем сравнения с данными измерений на аналогичном оборудовании и других фазах.

Измерение скорости включения и отключения выключателей производится для выключателей напряжением 35 *кв* и выше. Скоростные характеристики выключателей при заполненных маслом баках, температуре окружающей среды 10—20° С и номинальной величине напряжения оперативного тока или давления воздуха должны отличаться не больше чем на ±10% от величин, приведенных в табл. XII.3.

Время движения подвижных частей масляных выключателей (от подачи импульса до момента замыкания или размыкания контактов) должно отличаться не больше чем на ±10% от данных, приведенных в табл. XII.4.

Таблица XI1.3

Скорость движения подвижных контактов масляных выключателей

Тип выключателя *	Наименование операции	Скорость движения подвижных контактов, *м/сек*		
		наибольшая	в момент замыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов дугогасительных камер	в момент замыкания или размыкания (при отключении) промежуточного контакта с подвижным или рабочим контактом
МКП-110М	Включение	3,3	1,8	3,3
	Отключение	2,7	1,5	2,3
МКП-110МП	Включение	3,5	1,8	3,0
	Отключение	2,7	1,5	2,3
МГ-110	Включение	1,7	0,2	1,68
	Отключение	5,0	2,3	4,3
ВМ-35 и ВМД-35	Включение	1,7	—	—
	Отключение	2,45	1,0	—
МГ-35	Включение	2,5	1,96	2,4
	Отключение	2,7	2,06	2,4

* Для остальных типов выключателей скорость включения и отключения устанавливается в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей.

Таблица XI1.4

Время движения подвижных частей масляных выключателей

Тип выключателя *	Тип привода	Время, *сек*, от подачи импульса до момента			
		замыкания контактов (при включении)	остановки подвижных частей (при включении)	размыкания контактов (при отключении)	остановки подвижных частей (при отключении)
МКП-220	ШПЭ-42	0,7—0,8	—	0,04—0,05	—
МКП-110М	ПЭ-33	0,5—0,6	—	0,04—0,05	—
МКП-110МП	ПЭ-31	0,5—0,6	—	0,04—0,05	—
МГ-110	ПС-30	0,46	0,48	0,054	0,1
ВМ-35 и ВМД-35	ПС-10	0,18	—	0,06	—
МКП-35	ПС-30	0,4	0,45	0,05	0,2
МГ-35	ПС-20	0,23	0,236	0,06	0,166
МГ-20	ПС-31	0,65	1,2	0,14	0,37
МГ-10	ПС-31	0,53	0,75	0,12	0,29
МГГ-223	ПВС-150	0,55	0,65	0,15	0,3
МГГ-20	ПС-31	—	0,65	—	0,2
МГГ-10	ПЭ-2	0,14	0,42	0,11	0,24
ВМГ-133	ПС-10	0,2	0,23	0,1	0,18
ВМП-10 и ВМП-10К	ПЭ-11	—	0,3	—	0,1

* Для остальных типов выключателей время движения подвижных частей устанавливается в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей.

Механизм свободиого расцеплеиия должен быть провереи в работе при включеиием положеиии привода, двух-трех промежуточиых его положеииях и иа граиице зоиы действия свободиого расцепления.

Величииа мииимальиого иапряжеиия срабатываиия (действия привода иезависимо от времени его работы) катушек отключеиия приводов масляиых выключателей должиа быть ие меньше 35% иомииальиого, а иапряжеиие иадежиой работы их — ие больше 65%.

Напряжеиие надежиой работы (иаименьшее напряжеиие действия привода с задаииым времеием его работы) коитакторов включения масляиых выключателей должио быть ие больше 80% иомииального. Кроме того, должно быть обеспечено иадежное включение выключателя при иапряжении иа зажимах привода в момеит включения, равном 80% иомииального.

Включение и отключеиие выключателя при миогократном опробоваиии следует испытывать при иапряжеиии в момент включения на зажимах привода 110, 100, 90 и 80% номинальиого. Количество операций для каждого режима опробоваиия (включеиия и отключеиия) составляет три — пять.

Если по условиям работы нельзя предусмотреть увеличеиие иапряжения источиика питаиия оперативиого тока и испытать выключатель при напряжении 110% $U_{ном}$, допускается проведеиие испытаиия при том иебольшом иапряжеиии на зажимах привода, которое может быть получеио.

Выключатели, предназиачеииые для работы в цикле автоматического повториого включеиия, должны быть подвергиуты двух-трехкратиому опробоваиию цикла отключено — включеио — отключено при иомииальном напряжеиии.

Трансформаторное масло из бака испытывают для выключателей всех напряжеиий и малообъемиых выключателей иапряжением 110 *кв* и выше в соответствии с ПУЭ, I-8-33. Встроеиные ТТ испытывают согласио ПУЭ, I-8-17.

Выключатели нагрузки

Полностью собраный и отрегулироваииый комплект выключателя иагрузки должен быть испытан в объеме, предусмотреином ПУЭ, I-8-20.

Выключатели иагрузки иа иомииальиое иапряжеиие 6 *кв* испытывают повышеииым напряжеиием 29 *кв*, иа иапряжеиие 10 *кв* — повышенным напряжением 38 *кв*. Продолжительность испытаиия 1 *мин*.

Механизм свободного расцеплеиия должеи быть проверен в работе при включенном положеиии привода, в двух-трех промежуточ-

ных его положениях и иа граннце зоны действня свободного расцепления.

Срабатываиие привода при пониженном иапряжеиии проверяют в соответствии с ПУЭ, I-8-18. Испытанне выключателя многократиым включением и отключеиием осуществляют согласио ПУЭ, I-8-18. Предохраиители испытывают в соответствин с ПУЭ, I-8-30.

Внешний осмотр

Перед виешиим осмотром необходимо проверить наличие паспортных даиных выключателя и его привода, а также соответствие их проектиым даиным.

Во время осмотра выявляют качество монтажа выключателя, его привода и иадежность их крепления. Отсутствие трещнн, чистота фарфоровых проходных изоляторов, а также отсутствие пузырей и шероховатостей иа штангах, изготовленных из органических материалов (бакелита, текстолита, пропитаиного дерева), свидетельствуют о доброкачественности деталей.

При осмотре устанавливают налнчне необходнмого колнчества траисформаторного масла в баке МВ н маслоиаполиенных выводах выключателей, нсправиость спускных кранов и отсутствие течи масла через уплотнеиия, проверяют качество моитажа заземлеиия корпуса выключателя. Кроме того, проверяют наличие всех актов ревизии, производимой монтажным или ремоитным персоналом.

2. Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции токоведущих частей выключателя измеряют до испытания повышенным иапряжением и после него.

Для измерения сопротивлеиия изоляции первичиой коммутации выключателя примеияют мегомметр на 2500 *в*, для токоведущих частей прнвода н вторичной коммутации — иа 500—1000 *в*.

Величнну сопротнвлеиня изоляции ие иормируют. Минимальные значения сопротивлеиия изоляции подвижных частей выключателя, выполненных из органического материала для каждой фазы, согласно ПУЭ, должны быть меньше приведеиных в табл. XII.5. Для токоведущих частей привода совместио с цепями управлеиия и защиты величина сопротивления изоляции должна быть не меньше 1 *Мом*.

Таблица XII.5

Допустимые значения сопротивления изоляции подвижных частей выключателей

Номинальное напряжение, *кв*	Сопротивление, *Мом*
3—10	1000
>10	3000
220	5000

3. Измерение $\operatorname{tg}\delta$ вводов собранного выключателя и проверка диэлектрических потерь внутрибаковой изоляции

Главными изолирующими частями масляных высоковольтных выключателей являются проходные изоляторы (вводы) и изоляционные тяги подвижных частей выключателя.

На результаты измерения $\operatorname{tg}\delta$ вводов больше всего оказывает влияние внутрибаковая изоляция узкобаковых выключателей на 35 *кв* типа ВМ-35 (методика измерения $\operatorname{tg}\delta$ изложена в гл. III).

При измерении вводов выключателей $\operatorname{tg}\delta$ может увеличиваться на 1% по сравнению с данными испытаний вводов, снятых с выключателей.

Если $\operatorname{tg}\delta$ вводов масляных выключателей имеет повышенное значение (испытания оценивают по данным табл. XIII.14), производят повторное измерение вводов с исключением влияния внутрибаковой изоляции. Для этого баки опускают настолько, чтобы нижняя часть дугогасительных и контактных устройств находилась вне масла. Если в этом случае $\operatorname{tg}\delta$ вводов также окажется выше нормы, необходимо тщательно протереть внутреннюю часть ввода и снять или шунтировать проводником гасительные устройства, после чего повторить измерение. Если же и тогда $\operatorname{tg}\delta$ вводов окажется завышенным, ввод бракуется.

Проверка состояния изоляции подвижной части выключателей может быть осуществлена следующими методами: а) измерением $\operatorname{tg}\delta$ вводов вместе с изоляцией подвижной части выключателя во включенном положении выключателя; б) измерением токов утечки на выпрямленном напряжении; в) измерением сопротивления изоляции тяги мегомметром на 2500 *в* непосредственно по участкам, когда у выключателя опущены баки или слито масло.

Если у вводов, соединенных друг с другом при включенном положении выключателя, $\operatorname{tg}\delta$ окажется больше среднего значения для разъединенных вводов той же фазы, то, следовательно, подвижная часть выключателя увлажнена и имеет сопротивление изоляции меньше установленного нормами.

Ток утечки изоляции подвижной части масляных выключателей можно измерить при подаче напряжения к нижней части тяги у выключателей с опущенным баком или через люк, когда выключатель находится без масла.

На собранном масляном выключателе, залитом маслом, производят два измерения — при включенном и отключенном положении выключателя с подачей выпрямленного напряжения на оба ввода каждой фазы.

За ток утечки изоляции подвижной части выключателя принимают разность токов утечки изоляции включенного и отключенного выключателя.

4. Испытание высоковольтной изоляции повышенным напряжением переменного тока

Высоковольтиую изоляцию масляиых выключателей испытывают повышеиным напряжением переменного тока после нзмереиня tg δ вводов, измерения сопротивления изоляции или тока утечки подвижиой части и испытания масла при условии, что получеииые результаты соответствуют нормам. Испытывают изоляцию повышениым напряжеиием перемеиного тока по методике, указаиной в гл. IX.

Напряжение прикладывают: а) иа все выводы включенного масляиого выключателя (это дает возможиость испытывать изоляцию всех вводов, виутрибаковую изоляцию и изоляцию подвижиой части относительно заземленного бака выключателя); б) на вводы одной стороны выключателя при заземлеиных вводах другой стороны н отключенном выключателе (изоляцию проверяют между подвижными и иеподвижными контактами выключателя; для однобаковых выключателей изоляцию проверяют между отдельиыми фазами, испытательиое иапряжение подают иа среднюю фазу включениого масляного выключателя при иаложеиином заземлении на выводах других фаз).

Правильность испытаиия определяют по даиным табл. XII.1.

Если за время испытання ие было пробоя изоляции, разрядов, треска виутри бака или иа поверхностн вводов, выключатель выдержал испытаиие.

5. Измерение сопротивления изоляции и тока утечки опорных колонок воздушных выключателей

Сопротивление изоляции и ток утечки опориых колоиок воздушиых выключателей измеряют одиовремеиио для верхиего и иижиего изоляторов. Для этого изоляторы заземляют, а напряжеиие подают иа средиюю часть колоики. Прн получении иеудовлетворительных результатов испытаиия каждый изолятор испытывают отдельио для отыскания дефекта.

Ток утечки при иапряжеиии постояиного тока 40 *кв* ие должен быть более 10 *мка* на изолятор при раздельном испытании и 20 *мка* при совместном. Сопротивлеиие изоляции опорных изоляторов при измерении мегомметром иа 2500 *в* не должно быть ниже 5000 *Мом*. Уменьшение сопротивлеиия нзоляции или повышенне тока утечки опориых изоляторов воздушных выключателей чаще всего объясияется отсутствием продувки воздухом виутреиней полости нзоляторов. Продувка дает возможность привести сопротивление изоляции и ток утечки опориых нзоляторов к норме.

6. Измерение омического сопротивления контактов выключателей

Омическое сопротивление контактов выключателей измеряют приборами постоянного тока (микроомметром типа М-246, двойным мостом) или определяют методом вольтметра — амперметра (рисунок XII.1). Сопротивление контакта рассчитывают по величине тока и падению напряжения, измеренного прибором.

Состояние контактов токоведущих частей выключателей оценивают по нормам, приведенным в табл. XII.2.

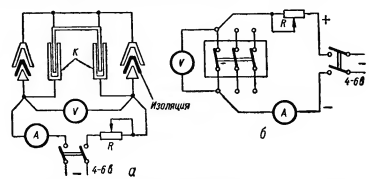


Рис. XII.1. Схемы измерения переходного сопротивления контактов высоковольтных выключателей методом вольтметра — амперметра:

а — выключатели типа МГГ, имеющие внешние розеточные контакты: *б* — выключатели типа ВМГ, МКП и др., не имеющие внешних контактов.

Сопротивление всех контактов увеличивается чаще всего за счет ухудшения переходного сопротивления подвижных, размыкающихся контактов. При получении неудовлетворительных результатов измерения общего омического сопротивления цепи контактов фазы выключателя следует измерить сопротивление единичных контактов, входящих в контур цепи выключателя.

При отыскании дефектного контакта его ремонтируют (разбирают, производят опиловку, зачистку, подтяжку и т. п.) и повторяют измерение.

Наряду с измерением омического сопротивления цепи выключателя рекомендуется контролировать контакты выключателей (типа ВМГ-133) путем определения усилия на выдергивание свечи из розеточного контакта. Согласно нормативам заводов-изготовителей, выдергивающее усилие должно быть до 10—15 *кг*. Измерение производится на отсоединенной от ребристого изолятора тяге пружинным динамометром.

7. Измерение скорости движения траверсы выключателя

При капитальном ремонте выключателя необходимо измерить скорость движения траверсы, вычертить кривую этой скорости (рис. XII.2) в зависимости от пройденного траверсой пути и сравнить с данными механических характеристик выключателя. При скоростях, отличающихся от данных завода больше чем на $\pm 10\%$, проверяют механизм выключателя, устраняют имеющиеся дефекты, после чего регулируют выключатель.

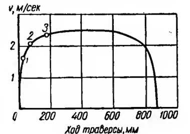


Рис. XII.2. Кривая скорости движения траверсы выключателя типа МКП-160 в зависимости от пройденного пути при отключении:

1 — размыкание верхнего контакта; *2* — размыкание промежуточного контакта; *3* — выход свечи из камеры.

Причинами уменьшения скорости движения траверсы могут быть заедание и повышенное трение в механизме и деталях выключателя вследствие их неисправности или нарушения регулировки, несоответствие включающей катушки привода, пониженное напряжение на включающей катушке привода в момент включения и неисправное состояние отключающей пружины.

Для определения скорости движения траверсы выключателя v измеряют путь s и время t, в течение которого она проходит этот путь:

$$v = \frac{s}{t} \ [м/сек]. \qquad (XII.1)$$

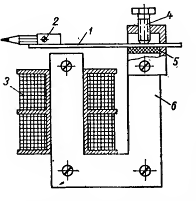


Рис. XII.3. Устройство вибратора:

1 — пластина; *2* — обойма; *3* — катушка; *4* — болт пластинки; *5* — подкладка пластинки; *6* — сердечник.

Среднюю скорость движения траверсы определяют на любом ее участке электромагнитным вибратором (рис. XII.3). Для этого весь ход траверсы делят на 8—12 участков.

Катушку вибратора подключают к переменному току частотой 50 *гц*. Для получения достаточной амплитуды колебаний, изменяя длину пластины, последнюю нужно настроить в резонанс на частоту 100 *гц*. На бумажной ленте карандаш вибратора чертит синусоиду с периодами различной длины. Длина периода зависит от скорости движения траверсы: чем больше скорость, тем больше период.

Кривая виброграммы разделена на участки. По числу периодов на виброграмме определяют время прохождения участков траверсой (рис. XII.4). Зная время движения траверсы для отдельного участка и принимая число колебаний кривой равным для всех участков, можно определить скорость движения траверсы:

Длина участка, *м*	0,0097	0,0171	0,0215	0,0211
Время движения траверсы, *сек*	0,025	0,02	0,02	0,02
Скорость движения траверсы, *м/сек*	0,39	0,86	1,07	1,05

Вибратор может быть подключен к сети 220 *в* (катушки соединены параллельно) и 120 *в* (катушки соединены последовательно).

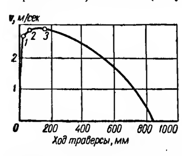


Рис. XII.4. Кривая скорости движения траверсы выключателя в зависимости от пройденного пути при включении:
1 — замыкание верхнего контакта; *2* — замыкание промежуточного контакта; *3* — вход свечи в камеру.

Скорость движения траверсы выключателей типа МКП измеряют при залитых маслом баках. Бумажную ленту шириной 50 *мм* закрепляют на горизонтальной тяге коробки механизма выключателя, вибратор устанавливают сбоку этой коробки (рис. XII.5).

Движение горизонтальной тяги механизма выключателя не соответствует движению его штанги, вследствие этого скорость движения траверсы измеряется вибратором в следующей последовательности.

Из бака выключателя сливается масло, и на штанге наносят метки. После того, как вибратор на ленте сделает первую отметку, его отключают. Затем медленно домкратом включают выключатель для нанесения следующей отметки на штанге. Прекращая включать выключатель и включая вибратор, на бумажной ленте получают вторую отметку и т. д. Последнее включение вибратора производят после полного включения выключателя и опущенного домкрата. Таким образом, градуируют бумажную ленту. На ленте отмечается положение «включено» и «отключено», а у каждого деления проставляется величина участка штанги, которому соответствует данное деление.

На штанге выключателей типа МКП-160 между отметками рекомендуется расстояние 30—30—50—50—50—100—100—100—100—100—100 *мм*; у выключателей типа МКП-274 расстояние должно составлять 30—40—80—80—120—120—120—120—120—120—120—120 *мм*.

После заполнения баков маслом автоматически включается выключатель при включенном вибраторе. Затем ленту снимают и ставят новую, включают вибратор и отключают выключатель. Это дает возможность получить две виброграммы выключателя — одну включения, другую отключения. На виброграмме обозначается тип выключателя, его номер, место установки, дата испытаний, время включения или отключения, измеренное электрическим секундомером, напряжение сети и напряжение оперативного тока на приводе в момент включения.

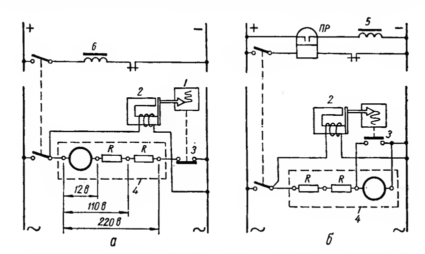


Рис. XII.5. Схемы электрических соединений при измерении скорости и собственного времени включения (*а*) и отключения (*б*) выключателя:
1 — планка с бумагой для виброграммы; *2* — виброграф электромагнитный; *3* — траверса выключателя; *4* — электрический секундомер; *5* — катушка включения; *6* — катушка отключения.

Электросекундомер фиксирует время от начала движения контактов до их замыкания или размыкания. Обычно время измеряют три раза на отключение и включение, среднюю арифметическую величину записывают в протокол измерения, расхождение с заводскими данными не должно быть больше 10% (рис. XII.6).

Более совершенным методом измерения скорости включения и выключения выключателя является метод осциллографирования. С помощью осциллографа можно получить полную характеристику скорости движения контактов выключателя. Этим способом одновременно со скоростью можно определить время действия электромагнитов, собственное время выключения, моменты подачи импульсов, величину тока в катушке и др.

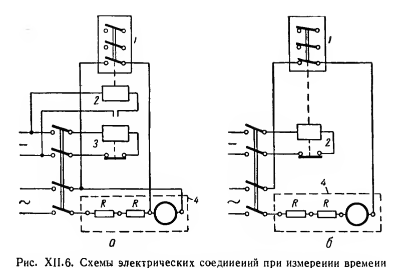


Рис. XII.6. Схемы электрических соединений при измерении времени включения (*а*) и отключения (*б*) выключателя с помощью электросекундомера:

1 — масляный выключатель; *2* — катушка отключения; *3* — катушка включения; *4* — электрический секундомер.

8. Проверка элементов приводов выключателей, разъединителей, автоматов гашения поля, короткозамыкателей и отделителей

Перед такой проверкой необходимо вынуть сердечники отключающих и включающих катушек и тщательно очистить их от грязи, ржавчины и смазки. Смазывать сердечники катушек не рекомендуется, так как к смазке пристает пыль, многие виды смазок со временем засыхают или вытекают при нагреве. Все это нарушает нормальную работу и может привести к отказу привода.

До проверки электрических характеристик привод должен быть полностью отрегулирован согласно заводским инструкциям. Проверяют качество и состояние блок-контактов, правильность и устойчивость их регулировки. Блок-контакт в цепи включения должен размыкаться в самом конце хода привода на включение; в цепи отключения он должен замыкаться всегда раньше размыкания силовых контактов выключателя.

Невыполнение указанных выше требований вызывает отказ в работе выключателя, особенно при включении на к. з., когда ток к. з. велик, а привод не имеет достаточного запаса для преодоления электродинамического усилия от тока к. з., препятствующего полному включению выключателя.

Очередность замыкания блок-контактов регулируют на глаз при медленном включении выключателя от руки, домкратом или аналогичным приспособлением.

Работа блок-контактов, отрегулированных при плавном включении выключателя, может нарушиться и при нормальной работе привода. Поэтому работу всех блок-контактов следует проверять при нормальном включении и отключении выключателя, разъединителя, автомата гашения поля. Если такая проверка невозможна, или требуется точное определение времени, можно ипользовать схему с секундомерами, приведенную на рис. XII.6. Для измерения времени действия блок-контактов пользуются теми же схемами, включая вместо выключателя его блок-контакты.

Обычные секундомеры (например, ПВ-52) дают большие ошибки при измерении малых отрезков времени (порядка 0,1 *сек*). Поэтому для проверки быстродействующих выключателей следует применять миллисекундомеры или осциллографы.

При регулировке привода нужно учитывать, что в цепи отключения некоторых типов приводов устанавливают блок-контакты типа КСУ, размыкающиеся в самом конце хода выключателя на отключение. В связи с этим цепь отключения может разрываться не этим блок-контактом, а контактом выходного реле защиты. Контакты этих реле обычно не рассчитывают на разрыв токов до 5—10 *а* при 220 *в*, поэтому они могут обгорать. Чтобы предупредить обгорание, предусматривается установка выходных реле с самоудержанием от обмотки, включенной последовательно с катушкой отключения.

Необходимо тщательно проверить жесткость передачи от вала выключателя к валам блок-контактов и невозможность нарушения регулирования из-за отвертывания гаек, выпадения шплинтов, изгиба тяг и других подобных причин.

Время работы блок-контактов, управляющих автоматикой, устанавливают в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями. Время работы блок-контактов в цепях сигнальных ламп, звуковых сигналов и прочих вспомогательных цепях особого значения не имеет. Нужно, чтобы положение блок-контакта точно соответствовало положению выключателя, а цепь замыкалась лишь в самом конце операции. Для регулировки момента замыкания или размыкания цепи блок-контактами типа КСБ обычно используется возможность поворота их на валу выключателя.

Необходимо следить за тем, чтобы длина контактной полоски на блок-шайбе соответствовала углу поворота вала выключателя. Втулка блок-шайбы должна крепиться на валу двумя стопорными винтами с коническими концами. Для концов стопорных винтов в валу должны быть просверлены гнезда.

Для регулировки момента замыкания и размыкания цепи и продолжительности замкнутого состояния цепи на блок-контактах типа КСА рекомендуется использовать возможность поворота контактных шайб на валу. Контакты разбирают, а шайбы их переставляют на нужный угол по граням вала. Иногда, чтобы увеличить время замкнутого состояния цепи, применяют параллельное включение отдельных контактных шайб, повернутых относительно друг друга на некоторый угол.

По схемам, приведенным на рис. XII.6, определяют время от начала подачи команды до начала замыкания или размыкания контактов выключателя. Измеряемое время не должно отличаться от заводских данных больше чем ± 10% (ПУЭ, I-8-18). Полное-время выключения выключателя до конца хода траверсы определяется по виброграмме.

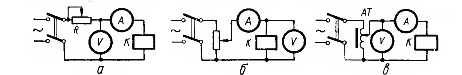


Рис. XII.7. Схемы проверки напряжения или тока срабатывания катушек приводов выключателя:
а — с реостатом; *б* — с потенциометром; *в* — с АТ.

Напряжение или ток срабатывания катушек приводов и контакторов включения переменного и постоянного тока измеряют по схемам, приведенным на рис. XII.7.

Схема с потенциометром пригодна для катушек K с небольшим потреблением тока; для мощных катушек требуются громоздкие потенциометры, в связи с этим лучше пользоваться схемой с реостатом. Для катушек переменного тока хорошие результаты дает схема с трансформатором (ЛАТР), позволяющая проверять ток и напряжение срабатывания катушки (рис. XII.7). Рекомендуется добиваться срабатывания катушки при плавном увеличении тока или напряжения. Однако в некоторых конструкциях выключателей отключение обеспечивается лишь при подаче питания толчком.

Для катушек пневматических приводов воздушных включателей официальных норм не существует, но, судя по эксплуатационным данным, напряжение срабатывания, измеренное по схеме, приведенной на рис. XII.7, не должно превышать 50% номинального. Вызвано это тем, что воздушные выключатели быстродействующие и имеют сложную пневматическую схему управления. Операции с выключателем должны происходить быстро, чтобы катушки отключения и включения срабатывали раньше, чем ток в них достигнет установив-

шегося значения. Время нарастания тока определяется соотношением омического сопротивления R и индуктивного L цепи катушек. Введение в схему проверки реостата увеличивает величину R и ускоряет время нарастания тока; напряжение срабатывания соответственно снижается. В действительности же в нормальной схеме управления выключателя реостат отсутствует, поэтому скорость нарастания тока здесь меньше, время срабатывания катушек больше, и выключатель может выйти из строя.

Кроме того, в процессе срабатывания катушки по мере хода сердечника изменяется ее индуктивность и, следовательно, изменяется соотношение между R и L. Для упрощения проверки рекомендуется более простая схема с реостатом; снижение максимального напряжения срабатывания до 50% (вместо принятых для масляных выключателей 65%) дает некоторый запас, перекрывающий ошибки испытательной схемы.

У выключателей с пофазными приводами всех типов и последовательным соединением катушек отключения и включения и контакторов включения напряжение срабатывания определяют по минимальному напряжению, при котором одновременно срабатывают все три последовательно включенные катушки.

Для токовых катушек, питающихся от ТТ непосредственно в схеме дешунтирования или через различные вспомогательные устройства (быстронасыщающиеся трансформаторы и автотрансформаторы), норм не существует. Установить для них норму в процентах от номинального тока трудно, так как ток срабатывания таких катушек зависит от числа витков катушки, веса сердечника, типа привода, мощности питающих ТТ, типа быстронасыщающегося трансформатора, расстояния между сердечником и стопом.

Опытом эксплуатации установлено такое правило: ток срабатывания катушки должен быть меньше тока срабатывания защиты, от которой работает катушка, по крайней мере, на 20—30%. Измерение производят со стороны ТТ так, чтобы в испытываемую цепь входили и быстронасыщающиеся трансформаторы (если они имеются в схеме).

Для катушек отключения, работающих от ТН и других подобных источников питания, в схемах защиты на переменном оперативном токе, установленные ПУЭ общие нормы на максимальное напряжение срабатывания (65% номинального) неприменимы. На основе опыта эксплуатации для таких катушек рекомендуется напряжение срабатывания не больше 35% номинального при включении их на фазовое напряжение. Таким образом, во всех случаях будет обеспечена работа катушки.

Повысить надежность работы можно еще бо́льшим снижением напряжения срабатывания, однако это вызовет значительное увеличе-

ние потребления тока катушкой при номинальном напряжении и затруднит работу контактов реле. При трехфазных к. з. катушки могут отказать в работе при любых значениях напряжения срабатывания.

Для катушек дистанционного включения на оперативном токе можно применять нормы, установленные ПУЭ. Согласно ПУЭ, I-8-18, надежность работы выключателя следует проверять при сниженном напряжении на шинах оперативного тока (постоянного или переменного) до 80% номинального. При этом воздушные выключатели испытывают при нормальном давлении воздуха. Напряжение снижают в зависимости от местных условий элементным коммутатором аккумуляторной батареи, переводом питания испытуемого выключателя на резервную батарею или зарядный агрегат, питанием цепей управления и защиты через реостат или потенциометр и т. п.

Схемы для понижения напряжения нужно строить так, чтобы было обеспечено постоянство сниженного напряжения. Если катушку включения нельзя питать пониженным напряжением от основного источника питания (батареи, зарядного агрегата и др.), допускается питать ее нормальным напряжением, последовательно включая небольшое сопротивление, за счет которого напряжение на катушке снижается до 80%. Сопротивление рассчитывают на кратковременное протекание тока.

Во время эксплуатационных проверок допускается опробование работы выключателя при пониженном напряжении, подаваемом только от ключа управления или одного из действующих на выключатель устройств. Работу остальных устройств при пониженном напряжении проверяют отдельно; катушки отключения и включения заменяют соответственно подобранными сопротивлениями.

Во всех случаях защита и управление работающих присоединений должны обеспечиваться оперативным током при нормальном напряжении. Для испытания выключателя допускается кратковременное снижение напряжения аккумуляторной батареи, питающей всю защиту и управление. Выполнение операций, способных вызвать отказ защиты при возникновении к. з. во время испытания, должно оговариваться особо.

При новом включении выключатель проверяют при пониженном напряжении оперативного тока от всех действующих на его отключение и включение устройств защиты и автоматики и ключа управления. Особое внимание обращают на правильную работу всех сериесных реле, включенных последовательно с катушками включения и отключения.

У всех выключателей проверяют надежность работы блокировки от «прыгания» путем подачи команды на включение при предварительно поданной команде на отключение от защиты. В зависимости

от типа блокировки и действующих иа выключатель устройств эти команды поступают от ключа управления, защиты, автоматического повториого включения, автоматического включения резерва и др.

Особое внимание надо обратить на четкость работы блокировки от «прыгания», выполненной посредством контакта, связанного с сердечником катушки отключения. Из-за низкого качества коиструкции такой блокировки ее желательно заменять более надежной (например, релейной блокировкой). У воздушных выключателей дополнительно проверяют иадежность блокировки операций при сиижении давления воздуха.

При проверке приводов короткозамыкателей необходимо измерить время от подачи оперативного тока на включеиие до замыкания иожа короткозамыкателя и до замыкания блок-контакта, находящегося в цепи отключения отделителя. Разница во времени должна быть перекрыта выдержкой времени аппаратуры в цепях отключеиия отделителя.

9. Установка приводов и проверка их работы совместно с выключателем

Общую проверку выключателя с приводом производят после того, как выключатель и привод будут закреплены на рабочем месте (фундаменте), контакты отрегулированы, бак заполнен маслом, механизм смазан. Включать и отключать привод допускается после требуемого строительными нормами срока выдержки бетона, в котором закреплены крепежные конструкции и болты.

Выключатель должеи быть многократно опробован приводом на включение и отключение. Практически производится подряд до 10 включений и отключений при нормальиом напряжении и 5 включеиий (после охлаждения катушек) при повышенном иа 15% напряжении на катушках. Ручными приводами можио производить до 20 включеиий и отключений подряд.

После такой проверки, ие требующей регулировки механизма и контактов, не должно наблюдаться ослабление элементов крепления. Выключатель должен без задержки возвращаться из любого промежуточного состояиия в отключенное положение. Отключающий электромагнит должен быть отрегулирован иа наименьшее напряжение срабатывания.

Регулироваиие производится путем подтягиваиия или опускания стального сердечника в электромагните, а также изменеиия расстояния между бойком сердечника и задерживающей защелкой.

Блок-коитакты КСУ должны размыкаться в самом конце включения, разрыв между контактами составит 4—5 *мм*. Угол между рычагом КСУ и тягой должен быть ие меньше 30°.

Бак (корпус) выключателя должен надежно крепиться к фундаменту или опорной конструкции во избежание смещений при работе привода (или при выбросе газов и масла из патрубков).

Работу привода на отключение от воздействия релейных защит проверяют при подаче импульса на отключение выключателя поочередно от всех воздействующих на выключатель защит путем замыкания контактов соответствующего реле вручную.

Отключение от каждой защиты проверяют по одному разу. При каждом отключении проверяют наличие и соответствие своему назначению световых и звуковых сигналов.

ГЛАВА XIII

ПОДСТАНЦИОННОЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

1. Разъединители, короткозамыкатели и отделители

Согласно ПУЭ, I-8-21, сопротивление изоляции поводков и тяг, выполненных из органических материалов, измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*. Сопротивление изоляции должно быть не меньше величин, приведенных в ПУЭ, I-8-18 (см. гл. XII). У многоэлементных изоляторов сопротивление измеряют согласно ПУЭ, I-8-32.

Изоляция, состоящая из одноэлементных опорных или опорно-стержневых изоляторов, должна быть испытана повышенным напряжением промышленной частоты в соответствии с ПУЭ, I-8-32.

При недостаточных конструктивных расстояниях между токоведущими частями разъединителей допускается снижение испытательного напряжения на 20—30%. Для одностержневых изоляторов испытание повышенным напряжением необязательно.

Сопротивление контактов постоянному току измеряют у разъединителей и отделителей на напряжение 110 *кв* и выше. Величина сопротивления должна составлять не больше 150% данных заводских испытаний или данных, приведенных в табл. XIII.1.

Таблица XIII.1

Сопротивление контактов разъединителей

Тип разъединителя	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *а*	Предельное сопротивление контактов, *мком*
РЛН	220—35	600	220
		600	175
Остальные . .	Любое напряжение	1000	120
		1500—2000	50

Работу разъединителей, короткозамыкателей и отделителей, имеющих электрический привод, проверяют трех — пятикратным включением и отключением каждого из режимов, указанных в ПУЭ, I-8-18.

При напряжении оперативного тока выше номинального работу разъединителей не проверяют. У короткозамыкателей время движения подвижных частей определяют при включении, у отделителей — при отключении.

Наружный осмотр

При наружном осмотре разъединителей, короткозамыкателей и отделителей необходимо проверить следующее: а) наличие паспортных табличек, а также соответствие их проекту; б) состояние фарфоровой изоляции, которая не должна иметь сколов, трещин, повреждений глазури и других дефектов; в) состояние контактных поверхностей, на которых не должно быть раковин, вмятин, окисления и ржавчины; г) состояние подвижных контактов (ножей), которые не должны иметь перекосов по отношению к неподвижным контактам; д) состояние контактных пружин при включенном ноже аппарата; в этом состоянии между витками пружины должен оставаться зазор шириной 0,5 *мм*; е) целость пластин гибкой связи при наличии таковой между ножом и зажимом, на которых не должно быть трещин и надрывов; ж) качество монтажа и защитного заземления металлических элементов.

Проверка регулировки

Одновременность замыкания всех фаз разъединителей, короткозамыкателей и отделителей проверяют тремя лампочками, каждую из которых включают последовательно с их контактами. Питание подают от батарейки напряжением 3 *в*.

Зазоры между неподвижными контактами и ножами всех трех фаз должны быть одинаковыми. Величина их не нормируется. Зазоры измеряют щупом 0,08 *мм* (или лезвием от безопасной бритвы).

Сопротивление изоляции измеряют повышенным напряжением до испытания и после него (см. гл. XII). Электрическую прочность изоляции испытывают по методике, изложенной в гл. III и XII. Переходное сопротивление контактов обычно измеряют по методу вольтметра — амперметра (см. гл. III и XII). Сопротивление постоянному току обмоток катушек привода целесообразно измерять мостом с пределами измерения 0,05—50000 *ом* или методом вольтметра — амперметра.

Проверка включающих и отключающих катушек

Минимальное напряжение срабатывания катушек определяют при ступенчатом подборе такой наименьшей величины, при которой электромагнит четко и надежно срабатывает без заметного замедления. Величина минимального напряжения должна быть в пределах 35—80% номинального напряжения оперативного тока.

Токовые реле мгновенного действия, встроенные в привод короткозамыкателя, проверяют по схемам, приведенным в гл. XVII.

2. Высоковольтные изоляторы

Вводы и проходные изоляторы

Вводы и проходные нзоляторы испытывают в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-31. Сопротивление нзоляции нзмеряют мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*. Для вводов с бумажно-масляной нзоляцией сопротивление нзоляцин обкладок вводов с проходными нзоляторамн относнтельно соедиинительной втулки должно быть не меньше 1000 *Мом*.

Тангенс угла диэлектрических потерь вводов и проходных нзоляторов при температуре 10—30° С и испытательном напряжении до 10 *кв* не должен превышать значений, приведенных в табл. XIII.2.

Таблнца XIII.2

Предельные значения tg δ вводов и проходных изоляторов, %

Объект испытания и вид основной изоляции	Номинальное напряженне, *кв*			
	3—15	20—35	60—110	150—220
Масляные вводы н проходиые нзоляторы с маслобарьериой изоляцией .	—	3	2	2
Маслонаполнеииые вводы и проходные изоляторы с бумажно-масляной нзоляцией	—	1	1	—
Мастиконаполненные вводы с бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	—
Вводы и проходные изоляторы с бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	—

Для вводов н проходных изоляторов с потенциометрическим устройством тангенс угла диэлектрических потерь изоляции основной и измерительной обкладок измеряют раздельно. У вводов и проходиых изоляторов с маслоконденсаторной нзоляцней tg δ нзоляцин последней обкладкн относнтельно соеднннтельной втулки следует нзмерять при напряжеиин 3—4 *кв*. При измерении тангенса угла диэлектрических потерь вводов н проходиых нзоляторов рекомендуется измерять нх емкость.

Величины нспытательного напряжения промышленной частоты проходных изоляторов и вводов, нспытываемых отдельно, приведены в ПУЭ, I-8-32, а совместно с аппаратом — в ПУЭ, I-8-18. Установленные на трансформаторах вводы испытывают вместе с их обмотками по иормам, приведенным в ПУЭ, I-8-16 (см. гл. IX).

Продолжительность приложеиия нспытательного напряжения для вводов, нспытываемых раздельно нлн установленных на аппарате, а также для изоляторов, у которых основная изоляция керамиче-

ская или жидкая, составляет 1 *мин*. Если основная изоляция состоит из органических твердых материалов или кабельных масс, продолжительность приложения напряжения 5 *мин*. Продолжительность приложения напряжения для вводов, испытываемых вместе с обмотками трансформаторов, 1 *мин*.

Вновь заливаемое в маслонаполненные вводы трансформаторное масло должно удовлетворять требованиям, приведенным в ПУЭ, I-8-33 (см. гл. IX). Состояние масла после монтажа проверяют согласно ПУЭ, I-8-33.

Подвесные и опорные фарфоровые изоляторы

Подвесные и опорные фарфоровые изоляторы испытывают в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-32.

Сопротивление изоляции подвесных и многоэлементных изоляторов измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*. Сопротивление изоляции каждого подвесного изолятора или элемента штырьевого изолятора должно быть не меньше 300 *Мом*.

Величины испытательного напряжения промышленной частоты одноэлементных опорных и проходных изоляторов внутренней и наружной установок приведены в табл. XIII.3.

Таблица XIII.3

Испытательное напряжение для опорных и проходных изоляторов

Тип изоляции	Номинальное напряжение изоляторов, *кв*								
	3	6	10	15	20	35	110	150	220
Нормальная	22	29	38	51	61	90	225	305	440
Облегченная	13	19	29	43	—	—	—	—	—

Величина испытательного напряжения промышленной частоты, прикладываемого к каждому склеенному элементу опорного многоэлементного изолятора, 50 *кв*. Продолжительность испытания 1 *мин*.

Для подвесных и многоэлементных изоляторов обязательно лишь одно из приведенных выше испытаний. Для опорно-стержневых изоляторов проведение электрических испытаний не обязательно. Стеклянные подвесные изоляторы не подвергают таким испытаниям; их состояние проверяют при внешнем осмотре.

3. Сборные и соединительные шины

Шины должны быть испытаны в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-24. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты производится в соответствии с ПУЭ, I-8-32.

Переходное сопротивление контактов сборных и соединительных шин измеряют на ток 1000 *а* и больше выборочной проверкой до 5% контактов. Величина сопротивления участка шины в месте контактного соединения должна быть не больше 1,2 сопротивления участка шины той же длины и того же сечения, но без соединения.

Болтовые соединения проводов подвергают выборочной проверке на качество затяжки болтов и вскрытию 2—3% соединений.

Наружный осмотр

При наружном осмотре сборных соединительных шин необходимо проверить качество их правки. При этом не должно быть видимых прогибов шин и обеспечено надежное крепление их на опорных изоляторах. Кроме того, следует проверить целость изоляторов и их крепление.

Шины должны быть окрашены, а места, предназначенные к наложению заземления переносных заземлений, зачищены, смазаны вазелином и окаймлены черной полоской.

Измерение переходного сопротивления контактов

Переходное сопротивление контактов можно измерить микромметром типа М-246, двойным мостом постоянного тока типа МД-6, мостом Р-316. Наиболее простым и удобным способом контроля контактов сборных шин является измерение падения напряжения методом вольтметра — амперметра.

На определение сопротивления контакта методом потерь напряжения не влияет величина тока, проходящего через место соединения шин, поэтому ток подбирают в зависимости от его источника и чувствительности измерительных приборов.

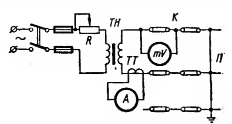


Рис. XIII.1. Схема измерения переходного сопротивления контактов сборных шин с применением нагрузочного трансформатора.

Измерения могут производиться как на постоянном, так и на переменном токе. В качестве источника постоянного тока можно использовать стационарные или переносные аккумуляторные батареи, селеновые выпрямители, зарядные и подзарядные агрегаты. Для измерения переходного сопротивления на переменном токе применяют нагрузочные трансформаторы (рис. XIII.1). Нагрузочные трансформаторы изготовляют на ток 600—1000 *а* с максимальным напряжением вторичной обмотки 4—6 *в* и мощностью 4—6 *ква*.

Переходные сопротивления контактов, имеющие значения от едниц до десятков и сотен тысяч мнкроом, пропорцнональны падению напряжения на участке, содержащем контакт:

$$\Delta U_к = IR_к, \quad (XIII.1)$$

где I — ток в цепи, содержащей контакт; $R_к$ — переходное сопротивление контакта.

Контроль контактов на переменном токе осуществляется методом сравнения падения напряжения на участке, содержащем контакт, и на участке целого провода одинаковой длины при неизмененной величине тока в цепи (рис. XIII.1).

Коэффициент дефектности контакта

$$K = \frac{IR_к}{IR_п} = \frac{\Delta U_к}{\Delta U_п}, \quad (XIII.2)$$

где $\Delta U_п$ — падение напряжения на участке целого провода.

Контакт считается дефектным, если $K > 1,2$.

Переходное сопротивление контакта, измеренное на переменном токе, рассчитывают по формуле

$$R_x = \frac{1000\ U}{I} [мком]. \quad (XIII.3)$$

4. Комплектные распределительные устройства внутренней и наружной установок напряжением выше 1000 *в*

В соответствии с ПУЭ, I-8-22, ниже приведены объем и нормы испытанний элементов комплектных распределительных устройств (КРУ).

Сопротивленне изоляции изоляцнонных элементов, выполненных нз органических материалов, измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*. Сопротивление изоляции нзоляцнонных элементов коммутацнонных аппаратов должно быть не меньше величин, приведенных в ПУЭ, I-8-18 (см. гл. XII). У вторичных цепей сопротивление изоляции измеряют в соответствии с ПУЭ, I-8-34 (см. гл. XIV).

Изоляцию токоведущих частей полностью смонтированных ячеек КРУ на номинальное напряжение 6 *кв* испытывают повышенным напряжением 22 *кв*, на номинальное напряжение 10 *кв* — 38 *кв*. Сопротивление контактов токоведущих частей КРУ постоянному току должно быть не больше величин, приведенных в табл. XIII.4.

Таблица XIII.4

Значения сопротивления контактов токоведущих частей КРУ постоянному току

Измеряемый элемент	Норма испытаний
Контакты сборных шин	Измерение производится выборочно (если позволяет конструкция КРУ). Величина сопротивления участка шин в месте контактного соединения не должна быть больше 1,2 сопротивления участка шин той же длины без контакта
Разъединяющиеся контакты первичной цепи	Измерение производится выборочно (если позволяет конструкция КРУ). Предельная величина сопротивления контактов (*мком*): контакты 400 *а* — 75; » 600 *а* — 60 » 900 *а* — 50; » 1200 *а* — 40
Разъединяющиеся контакты вторичной цепи	Измерение производится выборочно. Величина сопротивления контактов не должна превышать 4000 *мком*

Работу выкатных частей и механической блокировки проверяют после четырех-пяти вкатываний и выкатываний тележки КРУ.

Предельно допустимые температуры высоковольтного оборудования распределительных устройств приведены в табл. XIII.5.

Таблица XIII.5

Максимально допустимая температура токоведущих частей аппаратов и оборудования распределительных устройств напряжением свыше 1000 *в*
(ГОСТ 8024—56)

Место измерения температуры	Температура нагрева, °С		Температура перегрева, °С	
	в воздухе	в масле	в воздухе	в масле
Металлические части, не изолированные и не соприкасающиеся с изоляционными материалами	110	90	75	55

Место измерения температуры	Температура нагрева, °С		Температура перегрева, °С	
	в воздухе	в масле	в воздухе	в масле
Металлические части, изолированные или соприкасающиеся с изоляционными материалами, а также детали из изоляционных материалов различных классов:				
0	80	—	45	—
А	95	90	60	55
В и С	110	90	75	55
Масло трансформаторное в верхнем слое:				
использование в качестве дугогасящей среды	—	75	—	40
использование в качестве только изолирующей среды	—	90	—	55
Контактные соединения из меди или ее сплавов:				
жесткое соединение	80	80	45	45
нажатие, осуществляемое пружинами	75	75	40	40
Контактные соединения из меди или ее сплавов с гальваническим покрытием серебром	85	85	50	50
Контактные соединения из серебра или с накладными припаянными серебряными пластинами	100	90	65	55
Токоведущие части высоковольтных предохранителей (ГОСТ 2213—43)	100	—	65	—

Примечание. Характеристика классов изоляционных материалов приведена в гл. V.

5. Разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений

Профилактические испытания разрядников производят перед монтажем или перед началом грозового сезона, если было зафиксировано несколько срабатываний разрядника. Такие испытания не требуют демонтажа аппарата, поэтому их можно производить на месте его установки.

Вентильные разрядники

Во время наружного осмотра вентильных разрядников проверяют отсутствие трещин и сколов на фарфоре изоляторов, наличие уплотнений и маркировочной таблички, соответствие установленных разрядников проекту, правильность монтажа и надежность их крепления, а также надежность присоединения разрядников к заземляющей сети.

Пределы тока проводимости (тока утечки) отдельных элементов вентильных разрядников приведены в табл. XIII.6. Для остальных типов разрядников допустимый ток проводимости (ток утечки) принимают в соответствии с заводскими данными.

Таблица XIII.6

Токи проводимости (утечки) вентильных разрядников

Тип разрядника	Тип элемента разрядника	Величина выпрямленного напряжения, приложенного к элементу разрядника, *кв*	Токи проводимости одного элемента разрядника, *мка*		Верхний предел тока утечки, *мка*
			нижний предел	верхний предел	
РВС-3 РВВМ-3 РВС-6 РВВМ-6 РВС-10 РВВМ-10	РВС-3 РВВМ-3 РВС-6 РВВМ-6 РВС-10 РВВМ-10	4 4 6 6 10 10			
РВС-15 РВС-35	РВС-15	16			
РВС-20 РВС-66	РВС-20	20			
РВС-30 РВС-110 РВС-150 РВС-220	РВС-30	24	400	620	—
РВС-33 РВС-110 РВС-220	РВС-33	32			
РВС-35 РВСМ-35 РВС-60 РВС-110к РВС-150	РВС-35 РВСМ-35 РВС-15 РВС-20 РВС-15 РВС-33	32 32 16 20 16 32			
РВМГ-150 РВМГ-220	—	30	900	1300	—
РВП-3	—	4	—	—	10
РВП-6	—	7	—	—	10
РВП-10	—	10	—	—	10
РВП-35	Верхний элемент	40	—	—	10

Ток утечки вентильного разрядника *P* измеряют выпрямленным напряжением от кенотронного аппарата *K* по схеме, приведенной на рис. XIII.2. Обычно кенотронные аппараты типа АКИ-50 и АИИ-70 имеют схему однополупериодного выпрямления. Следовательно, в измеряемой цепи протекает пульсирующий ток, и микроамперметры магнитоэлектрической системы, установленные на таких аппаратах, показывают меньшую величину тока утечки, чем при приложении к разряднику постоянного напряжения. Чтобы сгладить пульсацию при измерении тока утечки, в схему вводят сглаживающую емкость *C* (табл. XIII. 7). Для более точного измерения токов утечки в схеме предусматривают включение контрольного микроамперметра.

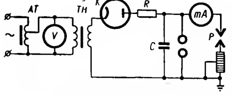


Рис. XIII.2. Схема измерения тока утечки вентильного разрядника.

Изменение токов утечки свидетельствует, как правило, о неправильной сборке, нарушении герметичности разрядника, наличии в его полости влаги или об отсырении внутренних поверхностей и шунтирующих сопротивлений (при их наличии).

Таблица XIII.7

Минимальные значения сглаживающей емкости, *мкф*

Серия и тип разрядника	Однополупериодная схема выпрямления	Двухполупериодная схема выпрямления
РВС, РВММ, РВ, РВЭ, РМБВ-3,3	0,1	0,05
РВМК, РВМГ	0,2	0,1

У разрядников типа РВС и РВВМ резкое снижение токов утечки ниже допустимого предела указывает на обрыв шунтирующих сопротивлений. Для разрядников, не имеющих шунтирующих сопротивлений (типа РВП), нижний предел тока утечки не нормируется.

Ток утечки разрядников серии РВП, а также ток проводимости разрядников серии РВС, РВВМ измеряют при постоянном (выпрямленном) напряжении по схеме, приведенной на рис. XIII.2 (табл. XIII.6). При измерении токов утечки разрядников серии РВП сглаживающая емкость должна составлять около 0,01 *мкф*.

Ток проводимости (утечки) может быть измерен при любой полярности. Величину напряжения, приложенного к разряднику при

измерении тока проводимости, следует устанавливать по измерительному сопротивлению типа СН соответствующего номинального напряжения. При измерении тока утечки разрядников типа РВП напряжение можно определить любым способом, обеспечивающим точность измерения не ниже 1%. Пределы разрядных напряжений при промышленной частоте должны соответствовать данным, приведенным в табл. XIII.8.

Таблица XIII.8

Пределы разрядных (пробивных) напряжений, *кв*

Тип разрядника	Нижний предел	Верхний предел	Тип разрядника	Нижний предел	Верхний предел
РВП-3	9	11	РВС-15	38	48
РРП-6	16	19	РВС-20	49	60,5
РВП-10	26	30,5	РВС-30	50	62,5
РВВМ-3	7,5	9,5	РВС-33	70	80
РВВМ-6	15	18	РВС-35	78	98
РВВМ-10	25	30			

Пробивное напряжение при промышленной частоте разрядников, имеющих шунтирующие сопротивления, допускается измерять только при наличии специальной испытательной установки в соответствии с заводской или специальной инструкцией.

При измерении пробивного напряжения при частоте 50 *гц* к разряднику (в сухом состоянии) нужно приложить постепенно нарастающее синусоидальное напряжение. Когда испытывают разрядники типа РВП, скорость повышения напряжения до 50% пробивного напряжения за 1 *сек* может быть произвольной, а выше — близкой к 2%. Если испытывают разрядники типа РВМБ-3,3, время подъема напряжения до пробивного не должно превышать 10 *сек*. При испытании разрядников остальных типов скорость нарастания прикладываемого к разряднику P напряжения должна быть такова, чтобы время от начала нарастания напряжений до момента пробоя искровых промежутков было не меньше 0,1 и не больше 0,5 *сек* (рис. XIII.3).

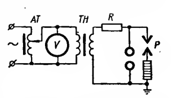


Рис. XIII.3. Схема измерения разрядного напряжения вентильного разрядника.

В качестве источника высокого напряжения применяют аппараты типа АИИ-70, АМИ-60 или трансформатор напряжения типа НОМ-35.

У вентильных разрядников с шунтирующими сопротивлениями не разрешается измерять разрядное напряжение. Момент пробоя опре-

деляют по отключению автомата на испытательной установке. За величину пробивного напряжения при частоте 50 *гц* должно быть принято напряжение, вычисленное как среднее арифметическое трех измерений. В отдельных случаях пробивное напряжение не должно отличаться от среднего значения больше чем на 5%. Интервал между измерениями должен находиться в пределах 10—60 *сек*.

Ток, проходящий через разрядник, после его пробоя необходимо прервать в течение 0,5 *сек*; его амплитуда должна быть ограничена сопротивлением до 0,7 *а*. По величине сопротивления элементов разрядники типа РВС делят на пять групп (табл. XIII.9). Разрядники РВС на напряжение 60—220 *кв* комплектуют только из элементов одной и той же группы.

Таблица XIII.9

Предельные значения сопротивления элементов разрядника

Группа	Тип элемента разрядника	Сопротивление, *Мом*		Группа	Тип элемента разрядника	Сопротивление, *Мом*	
		минимальное	максимальное			минимальное	максимальное
0	РВС-15	160	215	3	РВС-15	386	515
	РВС-20	240	315		РВС-20	556	785
	РВС-33	480	615		РВС-33	1100	1450
1	РВС-15	216	285	4	РВС-15	516	675
	РВС-20	316	415		РВС-20	786	965
	РВС-33	615	810		РВС-33	1450	1850
2	РВС-15	286	385	5	РВС-15	676	885
	РВС-20	416	556		РВС-20	966	1265
	РВС-33	810	1100		РВС-33	1850	2450

Сопротивления элементов магнито-вентильных разрядников приведены в табл. XIII.10. У разрядников серии РВП, РВЭ, РВ и РМБВ сопротивление не нормируется. Сопротивление элементов разрядников измеряют мегомметром на 2500 *в*.

Таблица XIII.10

Предельные значения сопротивления элементов разрядника, *Мом*

Тип разрядника и элемента	Минимальное сопротивление	Максимальное сопротивление
РВМК-330 и РВМК-500:		
основной элемент	150	500
искровой элемент	600	950
Вентильный элемент	$10 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
РВМГ-30 (элемент)	500	1300

Трубчатые разрядники

Трубчатые разрядники испытывают согласно ПУЭ, I-8-29. Состояние поверхности разрядников проверяют перед установкой их на опору. Наружная и внутренняя поверхности разрядника должны быть ровными, без трещин и расслоений.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в* перед установкой разрядника на опору. Величина сопротивления изоляции для разрядников на 110 *кв* должна быть не меньше 9000 *Мом*, для разрядников 35 *кв* — 7000 и для 3 — 10 *кв* — 3000 *Мом*.

Внутренний искровой промежуток (расстояние внутри трубки между пластинчатым и стержневым электродами) измеряют перед установкой разрядника на опору. Он должен соответствовать номинальным величинам с допусками ± 5 *мм* для разрядников на 110 и 35 *кв* и ± 3 *мм* для разрядников на 10—3 *кв*. Внешний искровой промежуток измеряют на опоре после установки разрядника; измеренная величина не должна отличаться от проектной.

Расположение зон выхлопа проверяют на опоре после установки разрядника. Зоны выхлопа не должны пересекаться и в них не должны находиться элементы конструкции и провода, имеющие другой потенциал, чем у открытого конца разрядника. При креплении разрядников за открытый конец допускается пересечение зон выхлопа, так как они в этом случае имеют потенциал зоны. В табл. XIII.11 приведены размеры расчетных зон выхлопа газов при работе трубчатых разрядников.

Таблица XIII.11

Зоны выхлопа газов при работе трубчатых разрядников

Эскиз зоны выхлопа	Тип разрядника	Гасмеры, *см*	
		a	*в*
	РТ-35	250	150
	РТВ-35	160	280
	РТ-3, 6, 10	150	100
	РТВ-6, 10	70	220

6. Конденсаторы

Объем испытаний конденсаторов предусмотрен ПУЭ, I-8-27. При наружном осмотре конденсаторных установок проверяют наличие паспортных данных, а также их соответствие требованиям проекта, отсутствие механических повреждений в корпусе конденсатора, отсут-

ствие трещин и чистоту фарфоровых изоляторов, качество монтажа конденсаторной установки, наличие и качество выполнения заземления. Запрещается перемещать конденсаторы, взяв их за изоляторы.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром на напряжение 2500 *в*. Величину сопротивления изоляции между выводами и относительно корпуса конденсатора, а также отношение $\frac{R_{60}}{R_{15}}$ не нормируется.

Предельное изменение емкости элемента конденсатора для повышения коэффициента мощности при напряжении 3,15 *кв* должно быть 33%, при 6,3 *кв* — 16 и при 10,5 *кв* — 9%. Для конденсаторов типа СМР-55/$\sqrt{3}$, СМ-70/$\sqrt{3}$, СМР-70/$\sqrt{3}$ и ДМР-70 предельное изменение емкости не должно превышать 10%, а для СМР-133/$\sqrt{3}$, ОМРЗ-30 и ОМРЗ-35—2—1,5%.

Тангенс угла диэлектрических потерь измеряют у конденсаторов связи, конденсаторов отбора мощности и делительных конденсаторов. При температуре 10—30° С $\operatorname{tg}\delta$ конденсаторов с бумажно-масляной изоляцией типа СМР-55/$\sqrt{3}$, СМ-70/$\sqrt{3}$, СМР-70/$\sqrt{3}$, ДМР-70 должен быть не больше 0,4%, типа СМР-133/$\sqrt{3}$, ОМРЗ-30 и ОМРЗ-35 — 0,3%.

Когда отсутствуют испытательные трансформаторы достаточной мощности, диэлектрические потери можно измерять на пониженном напряжении.

Величины испытательного напряжения промышленной частоты конденсаторов для повышения коэффициента мощности приведены в табл. XIII.12. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

Таблица XIII.12

Испытательное напряжение конденсаторов, *кв*

Место измерения	Номинальное напряжение, *кв*						
	0,22	0,38	0,5	1,05	3,15	6,3	10,5
Между обкладками конденсатора	0,42	0,72	0,95	2	5,9	11,8	20
Между обкладками и корпусом конденсатора	2,1	2,1	2,1	4,3	15,8	22,3	30

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции конденсаторов для повышения коэффициента мощности относительно корпуса, имеющих один вывод, соединенный с корпусом, не производится.

При отсутствии источника тока достаточной мощности испытания переменным током могут быть заменены испытанием выпрямленным напряжением удвоенной величины.

Испытательное напряжение промышленной частоты для конденсаторов связи:

Тип конденсатора	СМР-55/$\sqrt{3}$	ДМР-70	СМР-70/$\sqrt{3}$	СМ-70/$\sqrt{3}$	СМР-133/$\sqrt{3}$	ОМРЗ 30	ОМРЗ 35
Испытательное напряжение элемента конденсатора, *кв*	144	144	162	162	257	59	69

Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин.*

Изоляцию фарфоровой подставки испытывают напряжением 70 *кв* переменного тока. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин.* Батарею силовых конденсаторов для повышения коэффициента мощности испытывают трехкратным включением на номинальное напряжение при условии, что токи каждой фазы не отличаются друг от друга больше чем на 5%. Изоляция конденсатора *C* между обкладками и корпусом испытывается при закороченных выводах по схемам, приведенным на рис. XIII.4 и XIII.5.

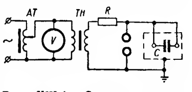


Рис. XIII.4. Схема испытания изоляции по отношению к корпусу (земле).

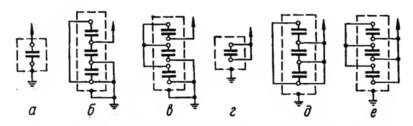


Рис. XIII.5. Схемы испытаний изоляции конденсаторов повышенным напряжением переменного тока:

а, б и *в* — испытание изоляции между обкладками соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенной в треугольник, и батареи, соединенной в звезду; *г, д* и *е* — испытание изоляции по отношению к корпусу соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенной в треугольник, и батареи, соединенной в звезду.

В качестве испытательных могут быть применены однофазные измерительные ТН типа НОМ-6 и НОМ-35.

Испытательное напряжение следует повышать плавно, желательно от нуля или от величины не больше 50% номинального напряжения конденсатора в течение 10 *сек.* В испытательной цепи должны быть установлены плавкие предохранители или автоматы.

В случае неудовлетворительного состояния изоляции конденсатора происходит ее пробой или частичные нарушения, отмечаемые резким изменением показаний контрольных приборов испытательной установки и звуком разряда в баке.

Испытанию повышенным напряжением должно предшествовать измерение сопротивления изоляции мегомметром. У конденсаторов, выдержавших испытание изоляции повышенным напряжением, измеряют емкость.

Измерение емкости

Емкость конденсаторов измеряют для проверки отсутствия частичных пробоев изоляции, не обнаруженных при испытании повышенным напряжением. Погрешность измерения не должна превышать 3%. Емкость рекомендуется измерять с помощью мостов переменного тока типа МД-16; Р-525, МДП, фарадомером и др.

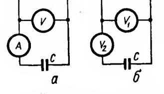


Рис. XIII.6. Схемы измерения емкости конденсатора: *а* — амперметром и вольтметром; *б* — двумя вольтметрами.

В случае отсутствия таких приборов емкость может быть определена методом вольтметра — амперметра по схеме, приведенной на рис. XIII.6, *а*, при напряжении переменного тока 100—220 *в*.

Емкость конденсатора рассчитывают по формуле

$$C = \frac{I10^6}{\omega U}\ [мкф], \qquad \text{(XIII.4)}$$

где I — ток, измеренный амперметром, *а*; U — напряжение на конденсаторе при испытании, *в*, при $f = 50$ *гц*, $\omega = 314$ *рад/сек*.

При измерении емкости конденсаторов напряжением 3,15; 6,3 и 10,5 *кв* вместо амперметра включают миллиамперметр. Если миллиамперметр отсутствует, измерение можно производить двумя вольтметрами по схеме, приведенной на рис. XIII, 6,*б*. В этом случае емкость конденсатора

$$C = \frac{10^6}{\omega R_2 \operatorname{tg}\varphi}\ [мкф], \qquad \text{(XIII.5)}$$

где ω — 314 *рад/сек* (при частоте тока 50 *гц*); R_2 — внутреннее сопротивление вольтметра V_2; $\operatorname{tg}\varphi$ — определяют по косинусу угла сдвига фаз между напряжениями вольтметров V_1 и V_2:

$$\cos\varphi = \frac{U_2}{U_1}. \qquad \text{(XIII.6)}$$

В однофазных конденсаторах емкость измеряют между двумя выводами, а в трехфазных — между каждой парой выводов, соединенных вместе (закороченных) и третьим выводом. Последовательность измерений приведена в табл. XIII.13.

Таблица XIII.13

Последовательность измерения емкости

Условный номер вывода трехфазного конденсатора	Замкнутые накоротко зажимы	Выводы, между которыми измеряют емкость	Обозначение измеренной емкости
1	2—3	1—2 · 3	$C_{1-2\cdot3}$
2	1—2	3—1 · 2	$C_{3-1\cdot2}$
3	1—3	2—1 · 3	$C_{2-1\cdot3}$

Емкость пар определяют по уравнениям

$$C_{2\cdot3} = \frac{C_{3-1\cdot2} + C_{2-1\cdot3} - C_{1-2\cdot3}}{2}; \qquad \text{(XIII.7)}$$

$$C_{1\cdot2} = \frac{C_{1-2\cdot3} + C_{2-1\cdot3} - C_{3-1\cdot2}}{2}; \qquad \text{(XIII.8)}$$

$$C_{1\cdot3} = \frac{C_{1-2\cdot3} + C_{3-1\cdot2} - C_{2-1\cdot3}}{2}. \qquad \text{(XIII.9)}$$

Полная емкость трехфазного конденсатора

$$C = \frac{C_{2\cdot3} + C_{1\cdot2} + C_{1\cdot3}}{2}. \qquad \text{(XIII.10)}$$

Отклонение измеренной емкости от емкостн, обозначенной на маркировочной табличке, не должно превышать предельных значений изменения емкости элементов конденсаторов. Увеличение емкости свидетельствует о частичном пробое секции в последовательно включенных группах. Такие конденсаторы к эксплуатацни не допускаются.

Включение конденсаторов

Перед включением конденсатора необходимо проверить исправность цепи разряда мегомметром. Не разрешается включать батареи, если напряжение на сборных шинах превышает 110% номинального напряжения конденсаторов. Включение в сеть и отключение батареи конденсаторов напряжением до 1000 *в* должно пронзводиться автоматом, а батарен иапряжением выше 1000 *в* — масляным выключателем или разъединителем мощности.

Выключатели нужно выбирать на ток не меньше 1,2 номинального тока конденсаторной батареи. Запрещается включать повторно конденсаторную батарею ранее чем через 1 *мин* после ее отключения.

После включения батареи в сеть измеряют пофазно токи нагрузки. Токи фаз по величине не должны отличаться друг от друга более чем на 5%.

Разряд конденсаторов

Перед прикосновением к токоведущим частям конденсаторов после их отключения от сети, испытательной или измерительной схемы независимо от автоматического разряда батареи на разрядное сопротивление (величиной не меньше 3000 *ом* для конденсаторов до 500 *в* и не меньше 10 000 *ом* для конденсаторов свыше 500 *в*) необходимо произвести индивидуальный разряд каждого конденсатора. Разряд производится путем замыкания выводов конденсатора накоротко при помощи заземленного металлического стержня, укрепленного на изоляционной штанге.

7. Реакторы

Сухие бетонные реакторы подвергают испытанию в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-25.

Перед испытанием реакторы необходимо осмотреть, обратив внимание на отсутствие трещин в бетонных колонках, целость и исправность армирования опорных изоляторов, надежность их крепления к стойкам, прочность вмазки болтов в бетон колонок, на состояние лакового покрытия колонок, целость изоляции и отсутствие деформации витков.

Рис. XIII.7. Схемы проверки сопротивления изоляции реактора между обмоткой и фланцами опорных изоляторов (*1*) и между обмоткой и арматурой бетона (*2*).

При вертикальной установке комплекта реакторов необходимо проверить правильность установки каждого реактора согласно заводским обозначениям: Н — нижняя, С — средняя и В — верхняя фазы. Направление тока в витках средней фазы должно быть противоположным направлению тока в крайних фазах.

Сопротивление изоляции обмоток реактора измеряют относительно болтов крепления мегомметром на напряжение 1000—2500 *в* между обмоткой реактора и фланцами всех опорных изоляторов, на которых установлены его колонки (рис. XIII.7). Сопротивление изоляции

должно быть не ниже 0,5 *Мом*; меньшие значения свидетельствуют об увлажненности бетона колонок. Реактор с таким сопротивлением необходимо просушить.

Главную изоляцию реактора испытывают повышенным напряжением переменного тока (см. гл. III). Величина испытательного напряжения и продолжительность испытания должны быть такими же, как и при испытании фарфоровых изоляторов.

Обычно электрическую прочность изоляции бетонных реакторов испытывают повышенным напряжением вместе с изоляцией остального оборудования данного фидера.

ГЛАВА XIV

ЗАЩИТНАЯ, ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА И АППАРАТУРА АВТОМАТИКИ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

1. Общие сведения

Аппараты, вторичные цепи и электропроводку напряжением до 1000 *в* испытывают в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-34.

Величины сопротивления изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 *в* должны быть не меньше приведенных в табл. XIV.1.

Таблица XIV.1

Минимальные значения сопротивления изоляции

Испытуемая изоляция	Напряжение мегомметра, *в*	Сопротивление изоляции, *Мом*	Примечание
Катушки контакторов магнитных пускателей и автоматов	500—1000	0,5	Одновременно испытывают присоединенные аппараты (катушки приводов, контакторы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т. п.)
Вторичные цепи управления, защиты, измерения и т. п.:		—	
шины постоянного тока и шины напряжения на щите управления (при отсоединенных цепях)	500—1000	10	
каждое присоединение вторичных цепей и цепей питания приводов выключателей и разъединителей .	500—1000	1	
цепи управления, защиты и возбуждения машин постоянного тока напряжением 500—1100 *в*, присоединенных к цепям главного тока	500—1000	1	

Испытуемая изоляция	Напряжение мегомметра, *в*	Сопротивление изоляции, *Мом*	Примечание
Силовые и осветительные электропроводки	1000	0,5	Сопротивление изоляции при снятых плавких вставках измеряют на участке между смежными предохранителями или за последними предохранителями между любым проводом и землей, а также между двумя любыми проводами. При измерении сопротивления в силовых цепях должны быть отключены электроприемники, а также аппараты, приборы и т. п., в осветительных цепях лампы должны быть вывинчены, а штепсельные розетки, выключатели и групповые щитки — присоединены
Распределительные устройства и токопроводы напряжением до 1000 *в*	1000	0,5	Испытание производится для каждой секции РУ

При испытании повышенным напряжением промышленной частоты величина испытательного напряжения изоляции аппаратов, их катушек и вторичных цепей со всеми присоединенными аппаратами (катушками, проводниками, контакторами, реле, приборами, вторичными обмотками ТТ и ТН и др.) принимается равной 1000 *в*. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 *мин*.

Таблица XIV.2

Напряжение на шинах при испытании аппаратов многократным включением и отключением

Наименование операции	Количество операций	Отклонение напряжения на шинах оперативного тока от номинального, %
Включение	5	90
Включение и отключение	5	100
Отключение	10	80

Когда проверяется действие максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматов с иоминальным током 200 *а* и больше, пределы их работы должны соответствовать заводским данным.

Работа контакторов и автоматов проверяется при пониженном и нормальном напряжениях оперативиого тока. Величины напряжений и количество операций при испытании контактов и автоматов многократными включениями и отключениями приведены в табл. XIV.2.

При проверке фазировки распределительных устройств и присоединеиий должно быть совпадение по фазам.

2. Автоматы

Установочные автоматы серии А3100

Электрическая прочность изоляции автоматов допускает испытание напряжением 2000 *в* переменного тока в течение 1 *мин*. Сопротивление изоляции между металлическими зажимами автомата и металлической коиструкцией, на которой укреплеи автомат, должно быть не меньше 10 *Мом* в холодном состоянии и 5 *Мом* при рабочей температуре.

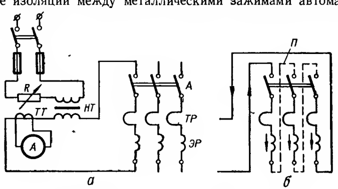


Рис. XIV.1. Схемы включения фаз автоматов для проверки тепловых и электромагнитных расцепителей:

а — включение одной фазы ввтомата; *б* — включение фазы при одновременной нагрузке всех полюсов автомата испытательным током (*R* — водяной реостат; *НТ* — нагрузочный трансформатор (нли сварочный); *ТР* — тепловой расцепитель; *ЭР* — электромвгннтный расцепнтель; *А* — автомат; *П* — перемычка).

Установившееся превышение температуры для контактов автомата при иагрузке всех полюсов иоминальным током расцепителя и температуре окружающей среды 25°С не должно превышать 80°С.

Электромагннтный расцепнтель срабатывает без выдержки времеин. Комбниироваиный расцепитель срабатывает с обратно зависимой от тока выдержкой времени прн перегрузках н без выдержки времени при коротких замыканиях.

Последияя цнфра каталожиого номера соответствует порядковому иомеру (величиие) тока уставки расцепителя. Например, автомат типа А3110 имеет каталожный иомер НА515215. Последияя цифра «5», следовательио, величииа тока уставки 5, и, согласно даиным табл. XIV.3, ток уставки мгновеииого срабатывания будет 400 *а* (если последняя цифра «0», величина уставки 10). Род расцепителя автомата определяется по третьей (от коица) цнфре каталожиого иомера: 1 — обозиачает комбииированный расцепитель; 2 — электромагнитиый; цифра 3 — тепловой; 4 — отсутствне автоматического расцепителя.

Ток уставки расцепителей автоматов ие регулируют. После калнбровки расцепителей иа заводе-изготовителе их крышки опечатывают. С целью выявлеиия пригодности автоматов для эксплуатации иа месте устаиовки автоматов проверяют соответствие фактических уставок расцепителей их номииальным даииым.

Проверка каждого теплового элемента иа срабатываиие при пополюсиой нагрузке испытательиым током осуществляется следующим образом (рис. XIV.1).

В каждом полюсе автомата смоитнроваи свой тепловой элемеит, воздействующий иа общий расцепитель автомата. Чтобы убедиться в правильности действия всех тепловых элементов, необходимо проверить каждый из иих в отдельности. Для автоматов А3160 и А3110 эту проверку нужио производить двухкратным иомнинальным током расцепителей, а для автоматов А3120, А3130 н А3140 — трехкратиым.

При одиовремеииой проверке большого количества автоматов испытаиие тепловых элемеитов по иачальиому току срабатываиия иецелесообразио, так как иа проверку каждого автомата приходится затрачивать несколько часов. В связи с этнм тепловые элемеиты рекомендуется проверять, как указаио выше, нспытательным током, равиым двух- и трехкратиому иоминальному току расцепителя при одиовремеииой иагрузке испытательиым током всех полюсов автомата.

В табл. XIV.4 приведены зиачеиия нспытательного тока при температуре окружающего воздуха, отличиой от 25° С (от 0 до 40° С), рассчитаииые по формуле завода-изготовителя:

$$I_t = I \sqrt{\frac{\theta_{сраб} - t}{\theta_{сраб} - 25}}, \qquad (XIV.1)$$

Таблица XIV.3

Ток уставки мгновенного срабатывания электромагнитных элементов комбинированных расцепителей автоматов серии А3100

Тип автомата	Электромагнитный расцепитель								Комбинированный расцепитель			
	Номинальный ток, *a*	Переменный ток, *a*			Постоянный ток, *a*			№ уставки	Номинальный ток, *a*	Переменный ток, *a*		
		ниже тока уставки	равный току уставки	выше тока уставки	ниже тока уставки	равный току уставки	выше тока уставки			ниже тока уставки	равный току уставки	выше тока уставки
А3110	15	105	150	195	105	150	195	1	15	105	150	195
	20	140	200	260	140	200	260	2	20	140	200	260
	25	175	250	325	175	250	325	3	25	175	250	325
	40	210	300	390	210	300	390	4	30	210	300	390
		280	400	520	280	400	520	5	40	280	400	520
	70	350	500	650	350	500	650	6	50	350	500	650
		420	600	780	420	600	780	7	60	420	600	780
		—	—	—	490	700	910	8	70	490	700	910
	100	490	700	910	—	—	—		85	595	850	1105
		595	850	1105	595	850	1105	9	—	—	—	—
		700	1000	1300	700	1000	1300	10	100	700	1000	1300
А3120	30	—	—	—	365	430	495	1	15; 20 25; 30	365	430	495
	100	365	430	495	—	—	—	1	40; 50 60	510	600	690
		510	600	690	510	600	610	2	80	680	680	920
		680	800	920	680	800	920	3	100			

А3130	200	714	840	966	714	840	966	1	120	714	840	966
		850	1000	1150	850	1000	1150	2	140	850	1000	1150
		1020	1200	1380	1020	1200	1380	3	170	1020	1200	1380
		1190	1400	1610	1190	1400	1610	4	200	1190	1400	1610
А3140	600	1488	1750	2012	1488	1750	2012	1	250	1488	1750	2012
		1785	2000	2415	1785	2000	2415	2	300	1785	2100	2415
		2083	2450	2817	2083	2450	2817	3	350	2083	2450	2817
		2380	2800	3220	2380	2800	3220	4	400	2380	2800	3220
		2975	3500	4025	2975	3500	4025	5	500	2975	3500	4025
		3570	4200	4830	3570	4200	4830	6	600	3570	4200	4830

Примечания.

1. Если испытательный ток автоматов серии А3110 на 30% ниже тока уставки, а прочих автоматов на 15%, электромагнитный элемент не срабатывает.

2. Указанные значения тока уставки действительны только при применении автоматов для соответствующего рода тока.

Таблица XIV.4

Характеристика тепловых элементов при одновременной нагрузке всех полюсов автомата двухкратным током (тип А3160 и А3110) и трехкратным (тип А3120, А3130 и А3140)

Тип автомата	Номинальный ток расцепителя, *а*	Испытательный ток, *а*, при различной температуре окружающего воздуха, °С									Предельное время срабатывания при одновременной нагрузке всех полюсов испытательным током, *сек*	Максимальное время нахождения автомата под испытательным током, *сек*	Температура биметалла при срабатывании автомата, °С
		0	5	10	15	20	25	30	35	40			
А3160	15	34	33	32	32	31	30	29	29	28	15—20	40	120
	20	45	44	43	42	41	40	39	38	37	18—23	45	125
	25	57	56	54	53	51	50	49	47	46	19—27	50	115
	30	67	66	64	63	62	60	59	57	55	28—35	70	125
	40	90	88	86	84	82	80	78	76	74	35—45	90	125
	50	114	112	109	106	103	100	97	94	91	58—78	150	107
А3110	15	37	35	34	33	32	30	29	27	25	19—27	50	75
	12	48	46	44	43	42	40	38	37	35	27—37	70	90

Тнп автомата	Номинальный ток расцепителя, *а*	Испытательный ток, *а*, прн различной температуре окружающего воздуха, °С									Предельное время срабатывания при одновременной нагрузке всех полюсов испытательным током, *сек*	Максимальное время нахождения автомата под испытательным током, *сек*	Температура биметалла при срабатывании автомата, °С
		0	5	10	15	20	25	30	35	40			
А3110	25	59	57	55	54	52	50	48	47	45	35—45	90	95
	30	74	71	62	66	63	60	57	54	50	55—65	130	75
	40	96	91	89	86	83	80	77	74	70	50—80	160	90
	50	114	111	109	106	103	100	97	90	90	80—100	200	110
	60	137	133	131	127	124	120	116	113	109	70—90	180	110
	70	157	154	151	150	144	140	136	133	129	75—95	190	120
	85	190	187	187	182	174	170	166	162	156	110—140	240	120
	100	228	224	212	212	206	200	194	187	180	100—150	240	105
А3120	15	50	50	49	48	46	45	44	43	41	18—22	45	120
	20	67	66	65	64	62	60	59	57	55	16—22	45	
	25	84	83	81	80	77	75	73	71	69	24—30	60	
	30	101	99	97	96	92	90	88	85	83	28—38	70	
	40	134	132	130	128	123	120	117	114	110	40—50	100	
	50	168	165	162	161	154	150	146	143	138	50—60	120	
	60	202	198	194	193	185	180	176	171	166	50—60	120	
	80	269	264	259	257	246	240	234	228	221	70—80	160	
	100	336	330	324	321	306	300	293	285	276	60—70	140	
А3130	120	403	396	389	385	369	360	351	342	331	65—75	150	120
	140	470	462	454	449	431	420	410	399	386	65—75	150	
	170	571	561	551	546	523	510	497	485	469	68—78	150	
	200	672	660	648	642	615	600	585	570	552	78—88	170	
А3140	250	840	825	810	803	769	750	731	713	690	60—70	140	
	300	1008	990	972	963	923	900	878	855	828	65—75	150	
	350	1176	1155	1134	1124	1076	1050	1024	998	966	65—75	150	120
	400	1344	1340	1296	1284	1230	1200	1170	1140	1104	50—60	120	
	500	1680	1650	1620	1605	1538	1500	1463	1425	1380	50—60	120	
	600	2016	1980	1944	1926	1845	1800	1755	1710	1656	65—75	150	

где t — температура воздуха в помещении, °C; I — испытательный ток прн $t = 25°$ C; $\theta_{сраб}$ — температура бнметалла нагревательного элемента прн срабатываннн автомата, °C.

Еслн тепловой элемент не срабатывает, т. е. автомат не отключается за максимально допустимое для него время (табл. XIV.4), необходнмо немедленно отключить испытательный ток во нзбежанне порчн автомата. Такой автомат к эксплуатацин не пригоден н дальнейшим испытанням не подлежнт.

У всех тепловых элементов, удовлетворяющих условням испытання на срабатыванне, должны быть проверены тепловые характеристики прн одновременной нагрузке испытательным током всех полюсов автомата. Для этой цели все полюса автомата соедняют последовательно (рис. XIV.1), автомат включают вручную, все его тепловые элементы одновременно нагружают испытательным током согласно данным табл. XIV.4.

Через определенное время автомат прн воздействнн тепловых элементов на расцепитель должен отключиться. Если время отключения автомата не превышает значений, приведенных в табл. XIV.4, проверка тепловых элементов заканчивается, так как автомат пригоден к эксплуатации. Когда время срабатывания выходит за указанные пределы, тепловые элементы проверяют на начальный ток срабатывання. Автоматы, не удовлетворяющие указанным выше условиям испытання, должны быть проверены следующим образом.

Если прн испытании время срабатывания меньше, чем указано в табл. XIV.5, автомат проверяют на несрабатыванне испытательным током $I_{исп}$, равным $1,1 I_{ном}$ расцепителя. Если же за указанное время автомат не отключается, он пригоден к эксплуатации.

Таблица XIV-5

Время срабатывания и остывания тепловых элементов автоматов

Тип автомата	Время срабатывания, ч: $\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1{,}3$	Время срабатывания, ч: $\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1{,}45$	Время, в течение которого элемент не срабатывает $\left(\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1{,}1\right)$, ч	Время остывания, *мин*
А3110	2	—	2	1
А3120	2	—	2	3,5
А3130	—	1	3	15
А3140	—	1	4	4
А3160	—	—	—	1

Автоматы, у которых время срабатывания прн испытанни больше указанного в табл. XIV.5, проверяют в зависимости от типа авто-

мата испытательным током, равным $1,3—1,45 I_{ном}$. Автомат, отключаемый за это время, пригоден к эксплуатации.

При проверке электромагнитных расцепителей, не имеющих тепловых элементов, автомат включают вручную, присоединяя к одному из полюсов нагрузочное устройство.

Регулирующим устройством и амперметром, включенным последовательно с поверяемым электромагнитным элементом, устанавливают такую величину испытательного тока (на 30% ниже тока уставки для автоматов типа А3110 и на 15% для прочих автоматов), при которой автомат не отключается (табл. XIV.3). Затем испытательный ток повышают до отключения автомата. Величина тока срабатывания не должна превышать ток уставки больше чем на 30% для автоматов типа А3110 и на 15% для прочих автоматов.

После отключения автомата испытательный ток снижают до нуля и в указанном выше порядке проверяют электромагнитные элементы в остальных полюсах автомата. Если автомат удовлетворяет условиям табл. XIV.3, он пригоден к эксплуатации.

Электромагнитные элементы комбинированных расцепителей (с тепловыми и электромагнитными элементами) проверяют в следующей последовательности.

К нагрузочному устройству подключают эквивалентное сопротивление, равное полному сопротивлению (суммарному сопротивлению теплового элемента, электромагнитного и коммутирующих контактов) одного полюса испытуемого автомата. Регулирующим устройством и амперметром, включаемым в цепь эквивалентного сопротивления, устанавливают ток на 30% ниже уставки для автомата типа А3110 и на 15% для прочих автоматов. Не изменяя величины установившегося испытательного тока, от нагрузочного устройства отключают эквивалентное сопротивление. Вместо него поочередно включают все полюса автомата, однако при этом автомат не должен отключаться. После этого эквивалентное сопротивление вновь присоединяют к нагрузочному устройству и устанавливают величину испытательного тока на 30% выше тока уставки для автоматов типа А3110 и на 15% для прочих автоматов (см. табл. XIV.3). Затем, не изменяя величины установившегося испытательного тока, отключают от нагрузочного устройства эквивалентное сопротивление и поочередно включают все полюса автомата. В этом случае автомат отключается под действием электромагнитных элементов.

Чтобы убедиться в том, что отключение происходит от действия электромагнитных элементов, а не тепловых, после каждого отключения необходимо (пока не остыли тепловые элементы) попытаться включить автомат вручную. Если автомат включится нормально, значит он был отключен от электромагнитного элемента. При срабатывании теплового элемента повторное включение автомата не прои-

зойдет. Контакты автоматов регулнруют в соответствин с данными табл. XIV.6.

Таблнца XIV.6

Данные по регулировке контактов автоматов

Регулируемый элемент	Тип автомата	
	А3120	А3130
Раствор, *мм*	20	12
Провал, *мм*	2,5—3	2—3
Нажатне, *кг*	1,8—3	4—6

Примечание. Еслн провал контактов снижен до 0,5 *мм*, автомат не пригоден для дальнейшей работы.

3. Контакторы

В объем наладочных работ по контакторам входят внешний осмотр магнитной станции управления и каждого аппарата в отдельности, проверка изоляцнн катушек н контактов, нзмеренне сопротивлений катушек постоянному току, регулнровка механнческой части аппаратов, проверка и настройка под током, проверка и подрегулировка в период нспытания электропривода при различных режимах.

Внешний осмотр

При внешнем осмотре проверяют следующее:

1) соответствие проекту аппаратуры и втягивающей катушки;

2) состояние главных и блокировочных контактов и их пружин, гибких соединений и искрогасительных камер;

3) целость опорных призм или подшипников;

4) наличие всех деталей магнитной системы, возвращающих пружин, немагнитной прокладки, крепежных болтов, гаек, плоских и пружинных шайб.

Когда осматривают аппараты, бывшие в длительной работе, необходимо тщательно проверить состояние деталей и установить их пригодность к эксплуатации.

Регулировка контактов постоянного тока

Во время перекатывания (главным образом при взаимном скольжении контактов) контактные поверхности очищаются от окислов, что является основным условием устойчивой работы медных контактов.

Замыкание и размыкание контактов сопровождается образованием электрической дуги, вызывающей окисление и наплавление «корольков» на поверхности контактов. При включении контактора проис-

ходит кратковременное отскакивание или, как иногда говорят, «прыгание» подвижного контакта. Нажатие контактов отдельных аппаратов выборочно проверяют пружинным динамометром.

Провал контакта проверяют при наладке, ибо он косвенно характеризует величину переката контактов, запас на стирание и степень сжатия контактной пружины.

При массовой проверке аппаратуры удобно пользоваться деревянными колодочками — щупами, толщина которых равна минимально допустимым величинам растворов или провалов контактов.

Испытание контакторов и настройка под током

Проверка и регулировка напряжений втягивания и отпадания. Напряжением (током) втягивания считается такое наименьшее значение напряжения (тока), при котором якорь аппарата полностью притягивается к сердечнику или упору. Напряжение (ток) отпадания — это наибольшее значение напряжения (тока), при котором якорь отпадает от сердечника и возвращается в исходное положение.

Во время испытания на втягивание и отпадание проверяют исправность втягивающей катушки, правильность установки пружин, свободный ход подвижной части, правильность зазоров.

Согласно требованиям ПУЭ, аппараты постоянного тока должны четко включаться при подаче 85% номинального напряжения на нагретые до максимально допустимой температуры втягивающие катушки. Однако испытывать аппараты при горячих катушках затруднительно. Поэтому во время наладки аппарат испытывают при холодных катушках, но соответственно понижению их сопротивления снижают нормируемое значение напряжения втягивания. Максимальный перегрев меди (катушек) принимают равным 70° С.

При температуре окружающей среды 20° С напряжение втягивания не должно превышать 68% номинального. Например, для аппаратов на напряжение 220 *в* контрольным напряжением втягивания будет $U_{вт.м} = 150$ *в*, для аппаратов на 110 *в* — $U_{вт.м} = 75$ *в*. Нагрев катушки во время испытания немного повышает данные измерения. Это следует учитывать при получении результатов измерений, близких к норме. Для уточнения результатов измерений можно внести поправку на отклонение температуры окружающей среды от 20° С: ± 10° С соответствует изменение напряжения ±(2,5 — 3)% $U_{ном}$.

Напряжение отпадания нормами не лимитируется и может иметь любые значения. Величину напряжения отпадания следует внести в протокол, так как она характеризует некоторые элементы аппарата (остаточный немагнитный зазор, конечное нажатие пружины, свободный ход якоря).

Аппараты постоянного тока, катушки которых потребляют не больше 2 *а*, испытывают под током согласно схеме на рис. XIV. 2, *а*.

Потенциометром может служить обычный реостат мощностью 300—500 *вт* сопротивлением примерно 250 *ом*. При отсутствии источника постоянного тока аппараты могут быть испытаны по схеме, приведенной на рис. XIV. 2, *б*.

Проверка гашения дуги и нагрева контактов. Для гашения дуги в контакторах постоянного тока применяют магнитное дутье и охлаждение в узкой щели. Образующаяся между контактами при отключении аппарата дуга под действием магнитного поля искрогасительной системы выталкивается, выдувается, в щель камеры, охлаждается от соприкосновения с ее стенками и быстро рвется.

Во время первоначальной наладки вновь смонтированных аппаратов гашение дуги и нагрев не контролируют, в период же текущей ревизии контактов, находящихся в эксплуатации, такая проверка обязательна.

Контакторы, контакты которых быстро выходят из строя, подвергают специальной настройке. Приступая к ревизии, следует в первую очередь выяснить причину быстрого повреждения контактов. Ниже описаны наиболее характерные их повреждения.

Рис. XIV.2. Схемы проверки напряжения втягивания и отпадания контактора:

а — питание от сети постоянного тока, *б* — питание от сети переменного тока через селеновые выпрямители (*КТ* — контактор; *ВС* — выпрямитель селеновый).

1. Преждевременное повреждение контактов в результате подгорания их поверхности из-за «прыгания» в момент замыкания и прохождения больших пусковых токов. Такое повреждение легко установить по изменению контактной поверхности. В этом случае на поверхности заметна глубокая коррозия линии первоначального замыкания, но не видно ожогов от действия дуги.

Устранить дефект можно при установке новой контактной пружины, создающей большее начальное нажатие, или при значительном увеличении пути проскальзывания, для чего иногда приходится специально подгибать упоры контактных стоек, а это нежелательно.

2. При разрыве цепей большой индуктивности или аварийных токах большой величины иногда наблюдается затяжное гашение дуги, вызывающее оплавление контактных поверхностей, а затем повышенный нагрев и быстрый выход из строя контактов. В данном случае в первую очередь следует проверить, достаточно ли число витков дугогасительной катушки и в правильном ли направлении они намотаны.

Правильность присоединения последовательной дугогасительной катушки может быть проверена с помощью простого правила: при взгляде на аппарат слева витки дугогасительной катушки, отходящие от верхнего неподвижного контакта, должны быть направлены по часовой стрелке. При изменении направления тока в дугогасительной катушке магнитный поток также изменяет свое направление, а направление магнитного дутья остается неизменным.

Шунтовые дугогасительные катушки контакторов должны быть подключены таким образом, чтобы направление создаваемого ими потока было согласовано с направлением тока через силовые контакты. Если известно направление намотки шунтовой катушки во время подключения, при направлении тока от нижнего подвижного контакта к верхнему ток в дугогасительной катушке (если смотреть слева) должен идти по часовой стрелке. Противоположное, т. е. сверху вниз, протекание тока в главной цепи требует также противоположного, т. е. против часовой стрелки (если смотреть слева), протекания тока в катушке. Когда направление намотки шунтовой дугогасительной катушки неизвестно, ее подключение проверяют компасом.

Износоустойчивость контактной системы может быть повышена установкой контактов с серебряными напайками. Это особенно полезно при редких включениях, когда во время скольжения и перекатки контактов не стираются нагары. Хорошие результаты дает замена медных неподвижных контактов аппарата КП-1 угольными (угольные колодки можно изготовлять из старых графитных или медно-графитных щеток электрических машин).

3. В эксплуатации нередко наблюдается повышенный нагрев контактов от действия длительно протекающего тока. Понизить нагрев можно при установке новой контактной пружины с большим конечным нажатием, а также путем улучшения теплоотдачи. Для улучшения теплоотдачи может быть использовано утолщенное гибкое соединение или укрепляемые на контактах дополнительные пластинки с большой поверхностью охлаждения.

Указанные мероприятия, связанные с переделкой некоторых деталей, следует осуществлять лишь в том случае, если обычными способами не удается обеспечить надежную работу контактора.

Контакторы переменного тока

Механическая регулировка контакторов серии КТ производится в период плановых ремонтов и текущих ревизий. При первоначальной наладке вновь смонтированных контакторов перечисленные ниже операции носят характер проверки.

В объем механической регулировки контакторов входят следующие операции.

1. Затяжка болтов, крепящих подшипники. Устранение затираний в подшипниках.

2. Проверка свободной самоустановки и плотности прилегания якоря к ярму.

3. Затяжка болтов, крепящих силовые контакты и выводы к ним.

4. Регулировка растворов и провалов главных контактов и одновременности их замыкания.

5. Проверка нажатия контактов и, в случае необходимости, замена контактных пружин.

6. Затяжка болтов и гаек системы блок-контактов.

7. Проверка центровки блок-контактов. Регулировка их зазоров. Проверка и, при необходимости, замена пружин на пальцах блок-контактов.

8. Проверка отсутствия затирания между контактами и дугогасительными камерами.

9. Проверка крепления катушки.

10. Затяжка болтов и гаек на скобах, крепящих магнитопровод на ограничивающей скобе и на стальных деталях.

11. Зачистка рабочих поверхностей главных и блокировочных контактов.

12. Проверка крепления демпферных витков.

13. Проверка правильности сборки деионных камер (если применено деионное гашение дуги).

В объем механической регулировки входит также установка всех недостающих болтов, гаек и шайб.

При затирании в подшипниках следует отпустить крепящие болты контакторов и, найдя положение, соответствующее свободному ходу вала, затянуть их заново.

Плотное прилегание якоря к ярму дает возможность избежать вибрации (гудения) и связанного с ней повышенного износа аппарата. Устранение вибрации якоря достигается тем, что в момент прохождения через нуль синусоидального магнитного потока $\Phi_к$, создаваемого катушкой K (рис. XIV.3), якорь не отпадает, а удерживается смещенным по фазе потоком $\Phi_в$ демпферного короткозамкнутого витка $ДВ$. Ампервитки и магнитодвижущая сила короткозамкнутого витка очень малы, поэтому даже при незначительном (десятые доли миллиметра) воздушном зазоре поток витка $\Phi_в$ резко падает и становится недостаточным для удержания якоря. Плотность прилегания якоря должна быть проверена щупом толщиной 0,05 *мм*.

Односторонние зазоры и перекосы могут быть вызваны отсутствием люфтов в подвеске якоря или повреждением поверхностей полюсов при частом включении аппарата. Если для устранения

перекосов требуется опиловка или шлифовка поверхностей касания якоря и ярма, целесообразно предварительно проверить контактор под током и снять отпечаток прилегания.

При регулировке растворов и провалов следует убедиться в одновременном замыкании контактов всех трех фаз и, главное, в наличии достаточного провала. Уменьшенный провал контакта на одной из фаз может привести к обрыву цепи, перегреву и даже сгоранию обмотки двигателя, включенного на две фазы.

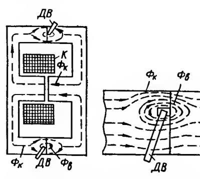


Рис. XIV.3. Схема магнитных потоков в контакторе переменного тока с учетом действия демпферного витка.

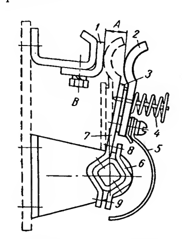


Рис. XIV.4. Схема контактной части контактора переменного тока типа КТ (дугогасительная камера снята):

1 — неподвижный контакт; *2* — подвижный контакт; *3* — место подкладывания бумаги; *4* — контактная пружина; *5* — гибкое соединение; *6* — вал; *7* — контактная скоба; *А* — раствор; *В* — зазор, контролирующий провал.

Растворы и провалы регулируют смещением подвижных контактов относительно горизонтальной оси (рис. XIV.4). Чтобы увеличить раствор (или уменьшить провал) для отвода контакта назад гайку винта *9* следует отпустить, а гайку винта *8* зажать. Если из-за неправильной сборки контактора это окажется недостаточным, следует подогнуть контактную скобу *7* (скобу нужно снять с аппарата). Для уменьшения раствора (или увеличения провала) при подаче контакта вперед гайку винта *8* надо отпустить, а гайку *9* зажать. Незамыкающие контакты регулируют аналогичным образом.

Короткозамкнутые демпферные витки должны быть плотно зажаты в своих пазах.

При испытании под током контакторы переменного тока испытывают в первую очередь на отсутствие гудения и вибрации. Причиной гудения может быть плохое прилегание якоря к ярму, повы-

шеииая жесткость контактных пружин, повреждеие к. з. (демфперных) витков или иеправильный их подбор (при ревизии и сборке), несоответствие катушки каталожным даиным, нарушеиие шихтовки магиитопровода.

Если гудеиие зиачительное, следует снять отпечаток прилегаиия якоря. Для этого иа поверхиость касания ярма кладется бумага и контактор включается под иапряжеиие. В случае выявлеиия перекосов производится дополнительная механическая регулировка, а при необходимости — пришлифовка полюсов.

Контакторы переменного тока должны быть проверены на напряжеиие втягиваиия и отпадания.

Главиой особеииостью процесса включеиия аппаратов переменного тока является зиачительиое увеличение индуктивности катушки по мере уменьшеиия воздушного зазора. Общее сопротивлеиие катушки определяется в осиовиом ее иидуктивиым сопротивлением, поэтому ток катушки в момент включеиия, когда иидуктивиое сопротивление мало, оказывается в 10—15 раз больше, чем при подтянутом якоре.

Согласно требованиям ПУЭ и ГОСТа, аппараты перемеиного тока должиы четко включаться при подаче на втягивающие катушки иапряжения, равного 85% $U_{\text{ном}}$. Практически напряжение втягиваиия аппаратов с 5%-иым запасом на иеучитываемые факторы (неточность измерений, колебаиия питающего иапряжения и др.) ие должно превышать 80% номииального.

В отличие от катушек постояиного тока иагрев катушек переменного тока почти ие влияет на изменение числа витков и напряжение втягивания вследствие малого влияния активного сопротивлеиия катушек на величину тока. Поэтому при испытаниях не виосится поправка на температуру катушки и окружающей среды.

Проверка контакторов иа напряжение втягивания должна осуществляться очень быстро во избежаиие перегрева катушек и регулировочиых устройств током включения.

Массовую проверку контакторов иа иапряжеиие втягивания рекомендуется производить с помощью котельных траисформаторов мощиостью 200 *вт*, напряжеиием 220/36 *в* без регулировочных устройств. Обмотки ВН и НН включают по схеме понижающего автотрансформатора, как указано на рис. XIV.5. При таком соединении на катушку контактора поступает примерно 83,5% $U_{\text{ном}}$.

Первая подача иапряжения производится кратковремеино, на 1—2 *сек*, во избежаиие перегрева катушки (если якорь не втяиут). Когда иеобходимо получить более точные даииые о иапряжении втягивания и отпадаиия, удобио пользоваться регулировочным автотрансформатором типа ЛАТР-1 на ток до 9 *а*, включая его по схеме,

указанной на рис. XIV.6, *а*. Следует иметь в виду, что ток включения контакторов *КТ* может превышать номинальный ток автотрансформатора (например, контактор типа КТ-4 на 220 *в* при включении потребляет 19 *а*), что может вызвать быстрый перегрев обмотки и, особенно, щеток последнего.

Повышенное напряжение втягивания якоря может быть вызвано следующими причинами: увеличением против номинального числа витков катушки, завышенным зазором якоря, чрезмерной затяжкой возвращающей пружины (при ее наличии), затиранием контактов в дугогасительных камерах или в осях.

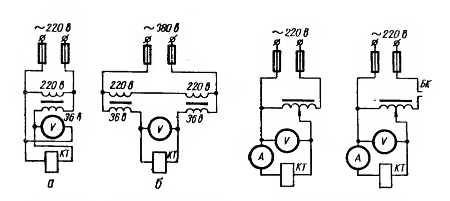


Рис. XIV.5. Схема испытания контактора типа КТ на напряжение втягивания с помощью котельных трансформаторов:
а — напряжение сети 220 *в*; *б* — напряжение сети — 380 *в*.

Рис. XIV.6. Схемы испытания контактора типа КТ:
а — на напряжение втягивания и отпадания с помощью АТ типа ЛАТР-1; *б* — на напряжение отпадания без перегрева катушек.

Оценку надежности удержания контакторов *КТ* при посадке напряжения питающей сети рекомендуется выполнять с помощью ЛАТР или потенциометра по схеме, приведенной на рис. XIV.6, *б*, позволяющей избежать перегрева катушки и регулирующего устройства. При этом испытании якорь контактора, включаемый от руки, удерживается напряжением, поступающим через блок-контакты (БК) контактора *КТ*. Затем напряжение снижается, и в момент отпадания якоря возрастающий ток катушки вновь отключается блок-контактами. Во время испытания желательно измерить ток, протекающий через катушку при втянутом якоре и номинальном напряжении. Результаты измерения записывают в протокол для сравнения с данными каталога и последующих испытаниях.

При наладке контакторов типа КТ-2Е затяжку пружины рекомендуется регулировать таким образом, чтобы напряжение удержания якоря составляло примерно 50% $U_{ном}$. После этого следует убедиться в надежном включении якоря при напряжении, не выше 80% номинального.

Механическая регулировка главных контактов контакторов серии КП-500 и КПТ-500 производится по данным, приведенным в табл. XIV.7, а контакторов типа КТ — в табл. XIV.8.

Таблица XIV.7

Растворы, провалы, нажатия главных контактов в контакторах серии КП-500 и КТП-500

Контактор	Номинальный ток контакторов, а	Контакты		Раствор контактов А, мм	Зазор, контролирующий провал контактов В+5%, мм	Нажатие на контакты, кг	
		с гашением	без гашения			начальное ±10%	конечное ±10%
Замыкающие контакты							
Нормально открытый:							
II	100	КП-502	КП-512	12±1	3	1	2
III	150	КП-503	КП-513	15,5±1	3,5	1,6	3,5
IV	300	КП-504	КП-514	15,5±1	5	3,6	7,2
V	600	КП-505	КП-515	22±1	7	7	15
Размыкающие контакты							
Нормально закрытый							
III	150	КП-523	КП-533	8±1	3,5	1,6	3,2
IV	300	КП-524	КП-534	8±1	5	3,6	7,2
Замыкающие контакты							
Нормально открытый							
I	50	КТП-521	КТП-541	16±2	3	0,5	1
II	100	КТП-522	КТП-542	18±2	3	1	2
III	150	КТП-523	КТП-543	18±2	3,5	1,6	3,2
IV	300	КТП-524	КТП-544	21±2	5	3,6	7,2

Таблица XIV.8

Растворы, провалы, нажатия главных контактов в контакторах переменного тока серии КТ

Контактор	Номинальный ток контакторов, *а*	Нажатие на контакт, *кг*		Длина контактной пружины, *мм*			Раствор контактов *А*, *мм*	Зазор, контролирующий провал контактов *В*, *мм*
		начальное	конечное	свободной	встроенной	конечной		
Замыкающие контакты								
Нормально открытый:								
II . . .	75	0,7÷0,9	0,9÷1,1	35	20	17	12÷14	2,5÷3,5
III . .	150	1,8±0,18	3,6±0,36	33	27	24,5	17,5±1,8	3,5±0,35
IV . .	300	3,6±0,36	7,2±0,72	53	42	38	18,5±1,9	5,5±0,55
V . . .	600	7,2±0,72	14,5±1,5	55	48	43,5	21,5±2,1	6±0,6
Размыкающие контакты								
Нормально закрытый:								
II . . .	20	0,3±0,04	0,6	35	25	20	6,5	2,5
III . .	40	0,9	1,6	45	27	25	9±0,8	2,5
IV . .	75	0,9	1,6	45	27	25	13±0,8	2,5
V . . .	150	1,8	3,6	45	27	24	17,5±0,8	3

4. Магнитные пускатели

Магнитные пускатели служат для дистанционного управления включением, отключением и реверсированием трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Магнитные пускатели не рассчитаны на разрыв токов короткого замыкания. Эти токи должны разрываться автоматами и предохранителями.

Наладочные работы по магнитным пускателям производятся по той же программе, что и для контакторов.

Основные технические требования, предъявляемые к магнитным пускателям.

1. Магнитные пускатели нужно монтировать в вертикальном положении.

2. Кожуха пускателей должны быть надежно заземлены.

3. Рабочие поверхности якоря и сердечника, смазанные вазелином на заводе-изготовителе, необходимо вытереть чистой сухой тряпкой, так как смазка способствует загрязнению поверхностей и вызы-

вает гудение. Сильное гудение пускателя сопровождается перегревом катушки и дрожанием электромагнита, что вызывает порчу катушки и ослабление затяжки витков, поэтому гудение должно быть устранено.

4. Вал пускателя должен свободно вращаться. При наличии заедания вал необходимо снять, цапфы промыть бензином и смазать техническим вазелином.

5. При неплотном прилегании якоря к сердечнику их поверхности необходимо отшлифовать. Между средними выступами якоря и сердечником пускателя должен оставаться зазор до 0,15—0,2 *мм*, чтобы уменьшить остаточный магнитный поток и исключить залипание системы при отключении.

6. Контакты пускателя нужно регулировать в соответствии с данными табл. XIV.9.

Таблица XIV.9

Данные по регулировке контактов пускателей

Регулируемый элемент	Тип контакта		
	П-200	П-300 клапанной конструкции	П-500 прямоходовой конструкции
Раствор главных контактов в отключенном положении, *мм*	Не меньше 4	Не меньше 8	8,5—10
Провал главных контактов во включенном положении, *мм*	3—4	2—3	4—4,5
Раствор блок-контактов в отключенном положении, *мм*	Не меньше 4	Не меньше 4	8,5—11
Провал блок-контактов во включенном положении, *мм*	2,5—3,5	2—3	3—5,5
Зазор между верхними углами магнитной системы в отключенном положении, *мм*	—	2,5—27,5	—
Зазор между скобами, *мм*	7,8	—	—
Неодновременность касания главных трех фаз при включении, *мм*	До 0,5	До 0,5	—
Нажатие главных подвижных контактов, *кг*:			
начальное	0,18—0,28	—	0,8—1
конечное	0,54—0,70	0,60—0,80	1,3—1,7
Нажатие блок-контактов, *кг*:			
начальное	0,055—0,075	—	0,2—0,3
конечное	0,110—0,140	0,28—0,36	0,3—0,4

7. Катушку магнитного пускателя желательно подключать на фазу и нуль. Тогда емкостные связи исчезнут и прекратится залипание якоря. При линейном напряжении возможно залипание якоря (контактор остается включенным при отключении катушки).

Реле тепловые магнитных пускателей

Реле тепловые (РТ) предназначены для защиты электродвигателей от длительных перегрузок, которые могут привести к недопустимому перегреву обмоток (табл. XIV.10). Реле типа РТ1—РТ4 устанавливают внутри корпусов магнитных пускателей, а также в открытом виде — на панелях магнитных станций.

Наладка РТ начинается с осмотра и проверки механической части. Методика настройки и испытаний заключается в следующем.

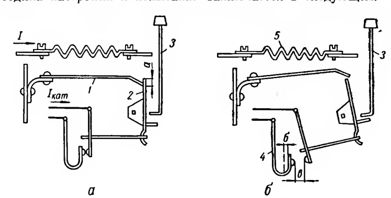


Рис. XIV.7. Расположение контактов и нагревателя РТ:
а — при включении; *б* — при выключении ($I_{кат}$ — ток катушки).

Снимается боковая крышка реле (рис. XIV.7) и производится осмотр деталей (поверхности биметаллической пластинки *1* и защелки *2* в местах соприкосновения должны быть полированы; конец пластинки должен упираться в защелку по всей ширине; при среднем положении регулятора глубина зацепления *а* должна составлять около 2 *мм*; нормальный провал *б* неподвижного контакта *4* должен лежать в пределах 2—3 *мм*, раствор контактов *в* должен быть не менее 3 *мм*). Проверяется свободный ход защёлки под действием отключающей пружины и чёткость установки в исходное положение при нажатии рычага возврата *3*.

Из тепловых реле вынимается нагреватель *5* и проверяется соответствие его номера (по заводскому формуляру) номинальному току двигателя. После проверки нагреватель и крышка реле устанавливаются на место. Регулировочный рычаг реле устанавливается в среднее положение возле заводской риски на прорези. Закрывается крышка магнитного пускателя.

Для настройки реле под током собирается схема, приведенная на рис. XIV. 8. Встроенное в пускатель тепловое реле, через кото-

Номинальный ток нагревателей РТ для магнитных пускателей серии П, *а*

№ элемента	Тип пускателя		№ элемента	Тип пускателя		№ элемента	Тип пускателя	№ элемента	Тип пускателя
	П-222, П-222М П-224, П-224М	П-322, П-322М П-324, П-324М		П-222, П-222М П-224, П-224М	П-322, П-322М П-324, П-324М		П-422, П-422М П-424, П-424М		П-522, П-522М П-524, П-524М
1	0,64—0,72	—	22	4,71—5,20	7,0—7,7	43	31,0—34,0	56	60,0—65,0
2	0,73—0,79	—	23	5,21—5,80	7,7—8,5	44	34,0—37,0	57	65,0—70,0
3	0,80—0,89	—	24	5,81—6,30	8,5—9,5	45	37,0—41,0	58	70,0—77,0
4	0,90—0,99	—	25	6,31—7,20	9,5—10,5	46	41,0—45,0	59	77,0—85,0
5	1,00—1,10	—	26	7,21—8,00	10,5—11,5	47	45,0—50,0	60	85,0—95,0
6	1,11—1,20	—	27	8,01—8,90	11,5—12,5	48	50,0—55,0	61	95,0—105,0
7	1,21—1,30	—	28	8,91—9,70	12,5—13,5	49	55,0—60,0	62	105,0—115,0
8	1,31—1,40	—	29	9,71—10,70	13,5—15,0	50	60,0—65,0	63	115,0—125,0
9	1,41—1,50	—	30	10,71—11,60	15,0—16,5	51	65,0—70,0	64	125,0—135,0
10	1,51—1,70	—	31	11,61—12,80	16,5—18,0	52	70,0—77,0	65	135,0—150,0
11	1,71—1,90	—	32	12,81—13,80	18,0—20,0	53	77,0—85,0		
12	1,91—2,10	—	33	13,81—15,20	20,0—22,5	54	85,0—95,0		
13	2,11—2,30	—	34	15,21—16,80	22,5—25,0	55	95,0—100		
14	2,31—2,50	—	35	16,81—18,30	25,0—28,0				
15	2,51—2,70	—	36	18,31—20,0	28,0—31,0				
16	2,71—2,90	—	37	—	31,0—34,0				
17	2,91—3,30	—	38	—	34,0—37,0				
18	3,31—3,60	—	39	—	37,0—41,0				
19	3,61—3,90	—	40	—	41,0—45,0				
20	3,91—4,20	6—6,5	41	—	45,0—50,0				
21	4,21—4,70	6,5—7,0	42	—	—				

Примечание. Если температура среды, в которой расположен пускатель, на 15—25° С ниже температуры среды, в которой расположен двигатель, то следует выбирать ближайший меньший номер нагревателя. Когда температура среды пускателя на 15—25° С выше температуры среды двигателя, то следует выбирать ближайший больший номер нагревателя.

рое длительно проходит номинальный ток, с момента создания перегрузки в 20% должно срабатывать за время до 20 *мин*. Предварительно в течение не менее 2 *ч* через контакты пускателя и нагреватели тепловых реле пропускается номинальный ток (катушка пускателя находится под номинальным напряжением). Затем ток повышается до 1,2 $I_{ном}$ и по часам контролируется время срабатывания реле t. Если через 20 *мин* со времени повышения тока реле не сработает, то следует постепенно, сдвигая регулировочный рычаг в сторону снижения уставки, найти такое положение, при котором отключатся контакты. Оставив рычаги реле в найденном положении, необходимо снизить ток до номинальной величины и после остывания аппарата вновь повторить опыт при токе 1,2 $I_{ном}$.

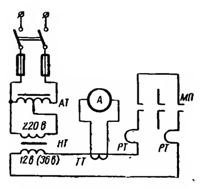


Рис. XIV.8. Схема испытания РТ.

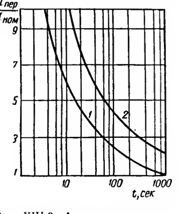


Рис. XIV.9. Ампер-секундные характеристики РТ:

1 — средняя типовая, снятая от нагретого состояния до рабочей температуры; *2* — средняя типовая, снятая при нагреве от холодного состояния до рабочей температуры.

Если при первоначальной проверке реле срабатывает слишком быстро (менее чем за 10 *мин*), ток следует снизить до номинального, регулировочный рычаг сдвинуть вправо и после проверки аппарата повторить опыт. Когда даже при сдвиге рычагов в крайние положения не удается ввести реле в норму по времени срабатывания (20 *мин*), нагревательные элементы следует заменить.

Для сокращения времени настройки реле применяется прогрев элементов двухкратным ($2I_{ном}$) или трехкратным ($3I_{ном}$) номинальным током. По методу инж. Б. В. Костюка (Укрглавэлектромонтаж, Оргэнергоавтоматика) реле следует прогревать током $2I_{ном}$ в течение 3 *мин*, а затем около 12 *мин* поддерживать номинальный ток. В дальнейшем опыт проводится по методике, описанной выше: ток поднимается до $1,2I_{ном}$ и постепенным смещением рычага находится его

рабочее положение. (Ток, равный $2I_{ном}$, недопустимо пропускать более 4 *мин*, так как при этом происходит чрезмерный нагрев тепловых элементов.)

Время t, в течение которого биметаллическая пластинка нагревается до температуры срабатывания реле при разной кратности тока нагрузки, определяется ампер-секундными характеристиками (рис. XIV.9).

При наладке большого количества тепловых реле с одинаковой уставкой рекомендуется пользоваться образцовыми реле, предварительно настраиваемыми описанными выше способами. Тепловые реле нескольких пускателей включают последовательно с образцовыми реле; пускатели со снятыми крышками кожухов оставляют во включенном положении. По цепи нагревателей пропускают ток, примерно равный $1{,}5I_{ном}$. Для подстройки рычаги смещают таким образом, что реле срабатывают одновременно с образцовыми. Пускатели включают только для удобства определения момента размыкания контактов реле.

Присоединяя к испытательной схеме новую партию аппаратов, не следует ожидать пока остынет контрольный пускатель. Достаточно предварительно прогреть все аппараты в течение 10—15 *мин* током, равным $1{,}5I_{ном}$, а затем отключить ток на 10 *мин*.

Во время наладки тепловых реле следует учитывать температуру окружающей среды и вводить соответствующую поправку на величину тока нагрузки (примерно $\pm 6\%$ на каждые $\pm 10°$ С по отношению к исходной температуре 25° С). При настройке по образцовым реле температурную поправку вводить не требуется, так как абсолютная величина времени срабатывания не оказывает влияния на величину тока. Во всех случаях тепловые элементы недопустимо нагревать свыше 150° С, ибо при этом возникают остаточные деформации, мешающие устойчивой работе реле.

В условиях эксплуатации иногда приходится изготовлять тепловые элементы. Для нагревателей подбирают нихромовую проволоку, диаметр которой рассчитывают по формуле

$$d \simeq \sqrt{0{,}4I_{ном}}.$$

При токах больше 5 *а* нагреватели следует наматывать из нескольких параллельных проволок.

Пример. Имеется проволока диаметром d_1. Требуется изготовить нагреватель на ток $I_{ном}$. По приведенной выше формуле находим ток I_1. Количество проволок N, соединяемых параллельно, рассчитывают по формуле

$$N \simeq \frac{I_{ном}}{I_1}.$$

Сопротивление нагревателя R ориентировочно может быть определено по номинальному току:

$$R = \frac{6 \div 8}{I_{\text{ном}}^2}.$$

5. Электромагнитные тормоза

Внешний осмотр механической и электрической части электромагнитных тормозов производится для установления соответствия тормоза проектным данным или рабочей характеристике привода, наличия и целости всех основных деталей.

Механическая регулировка тормозов включает тщательную проверку состояния всех деталей, зазоров и натяжения пружин. Кроме того, проверяют состояние изоляции катушек электромагнита, добавочного и разрядного сопротивлений (при наличии последних), измеряют сопротивление катушек постоянному току. Испытание и регулировку электромагнитных тормозов осуществляют под током. Подрегулировку тормозов производят в процессе эксплуатации.

Проверка напряжения или тока втягивания

Перед испытаниями в соответствии с программой измеряют сопротивление изоляции и сопротивление постоянному току катушки электромагнита.

Электромагниты постоянного тока с катушками напряжения испытывают по схеме, приведенной на рис. XIV.10. В качестве добавочного сопротивления могут быть использованы жидкостные реостаты и др. Реостаты должны соответствовать номинальному току электромагнита и иметь сопротивление в два-три раза большее, чем сопротивление его катушки.

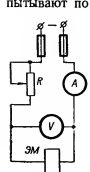


Рис. XIV.10. Схема испытания электромагнитов постоянного тока на напряжение втягивания.

Испытания электромагнитов проводят аналогично проверке напряжения втягивания контакторно-релейной аппаратуры.

Заводы-изготовители гарантируют выполнение каталожных технических показателей (тяговое усилие и ход якоря) при 85—90% номинального напряжения и горячей катушке. Поскольку соблюдение заводских условий испытаний затруднительно, тормоза проверяют при холодных катушках; они надежно включаются при напряжении 65% номинального.

Однофазные электромагниты переменного тока испытывают аналогично магнитам постоянного тока.

При выборе добавочного сопротивления (см. рис. XIV.10) ориентируются на ток включения данного магнита. Учитывая, что ток включения в 10—20 раз больше тока при втянутом якоре, напряжение поднимают быстро, чтобы избежать перегрева катушки.

Во время испытания следует убедиться в отсутствии гудения включенного электромагнита. Наличие гудения свидетельствует о неплотном прилегании якоря к ярму или о неисправности к. з. витков на полюсах магнитопровода. Для устранения гудения необходимо перебрать детали магнитопровода.

Трехфазные электромагниты затруднительно испытывать регулированием подводимого напряжения. Запас тягового усилия таких магнитов может быть оценен при установке добавочного груза и пробном включении на номинальное напряжение. Величина добавочного груза должна составлять примерно 20—40% веса основного груза.

Иногда тягового усилия P электромагнита недостаточно для подъема тормозного груза. В этом случае, помимо проверки электрических параметров схемы, следует определить вес груза Q, приходящегося на плечо действия электромагнита:

$$Q = Q_1 \frac{l_2}{l_1} + Q_2 \frac{l_3}{l_1}, \qquad \text{(XIV.2)}$$

где Q_1 — вес гири, *кг*; Q_2 — вес рычага, *кг*; l_1 — плечо действия электромагнита, *см*; l_2 — плечо действия гири, *см*; l_3 — расстояние от центра тяжести рычага до оси вращения, *см*. Действием веса тяги и других деталей можно пренебречь.

Приведенный груз Q не должен превышать нормированного для электромагнита тягового усилия за вычетом веса якоря $Q_я$, т. е.

$$Q = P - Q_я. \qquad \text{(XIV.3)}$$

Проверка напряжения (тока) отпадания

Помимо проверки напряжения (тока) втягивания, необходимо проверить напряжение (ток) отпадания электромагнитов постоянного тока. Электромагниты небольших габаритов испытывают на напряжение отпадания по схеме, указанной на рис. XIV.2, средние и большие — по схеме на рис. XIV.10. В последнем случае выбираемое добавочное сопротивление должно в 10—15 раз превышать сопротивление втягивающей катушки, а по нагрузочной способности выдерживать ток, равный 20% $I_{ном}$ катушки.

Якори электромагнитов перед проверкой на отпадание обычно включают от руки (или ломом), так как трудно подобрать потенциометр или добавочное сопротивление, выдерживающие ток втягивания и вместе с тем во много раз превышающие сопротивление катушки.

При оценке результатов измерений можно руководствоваться следующими соображениями: ток отпадания будет тем больше, чем больше воздушный зазор или немагнитная прокладка между якорем и ярмом (отсутствие немагнитного участка вызывает «залипание» якоря).

У электромагнитов с катушками напряжения желательно иметь бо́льшие немагнитные зазоры, так как бо́льшим зазорам соответствует меньшее собственное время наложения тормоза на шкив. У электромагнитов с токовыми катушками ток отпадания во избежание ложного действия тормоза должен быть меньше тока холостого хода привода и составлять примерно 10% номинального.

Рассмотрим факторы, влияющие на настройку тормозов. Настройка тормозов резко влияет на переходные режимы работы привода, поэтому в большинстве случаев ее выполняют не по максимально допустимым показателям (максимальной затяжке тормозной пружины, максимальному ходу якоря и т. п.), а по технологическим требованиям к приводу.

Для некоторых электроприводов тормоза не могут настраиваться на максимальное усилие, так как при остановке двигателя в момент наложения тормоза на шкив вследствие толчков тока возникают удары в механизме. В схемах таких приводов сжатие нажимной пружины тормоза (величина груза) регулируют, учитывая механические толчки, или по току двигателя. При отсутствии специальных условий можно принять, что толчок тока двигателя в момент наложения тормоза не должен превышать 200—250% номинального.

Магниты с токовыми катушками постоянного тока рекомендуется настраивать на ток включения не более 60% номинального тока двигателя для механизмов передвижения и 40% для механизмов подъема.

В момент выключения электромагнитов переменного тока ток катушки должен быть в 10—20 раз больше, чем при втянутом якоре. При большой частоте включений увеличивается выделение тепла из-за действия начального тока. Для снижения нагрева необходимо уменьшить ход якоря. Например, электромагниты типа КМТ-102 — КМТ-104 могут работать с максимальным ходом 50 *мм* при частоте включений в час не больше 150; частоте 300 включений в час соответствует допустимый ход 35 *мм*, а частоте 600 включений — 25 *мм*.

По мере притирки фрикционного материала действие тормоза изменяется. Особенно резко это проявляется у короткоходовых тормозов в начальный период эксплуатации. В связи с этим тормоза после ввода в действие рекомендуется регулировать через 100—200 включений, а затем два-три раза в течение первых 10—15 дней эксплуатации.

6. Стабилизирующие трансформаторы

Назначение и проверка стабилизирующего трансформатора

Стабилизирующие трансформаторы (СТ) служат для успокоения колебательных и иных нестационарных процессов в схемах автоматического управления и регулирования. Стандартный СТ представляет собой однофазный трансформатор с двумя обмотками и регулируемым воздушным зазором.

При резком возрастании напряжения на якоре генератора, к которому подключена первичная обмотка I (рис. XIV.11), под действием трансформатора возникает э. д. с. на вторичной обмотке II. Включение обмоток СТ подбирают так, что при возрастании напряжения на якоре и э. д. с. обмотки II снижался ток возбуждения генератора. Чем резче возрастание или снижение напряжения, тем интенсивнее демпфирующее действие СТ.

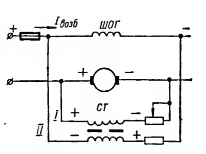


Рис. XIV.11. Примерная схема включения СТ (*ШОГ* — шунтовая обмотка генератора).

При наладке следует иметь в виду, что наряду с усилением стабилизации удлиняется время переходных процессов управления приводом, в некоторых случаях снижается производительность, увеличиваются динамические изменения скорости. В связи с этим обычно СТ настраивают на необходимую, но не максимальную интенсивность действия. Стабилизацию регулируют, изменяя величину добавочных сопротивлений в цепи обмоток СТ, переключая обмотки на иные отводы или изменяя зазор магнитной системы.

В проверку СТ как самостоятельного аппарата независимо от схемы привода входят такие операции: 1) проверка изоляции обмоток; 2) измерение сопротивления обмоток постоянному току; 3) определение полярности выводов; 4) измерение коэффициента трансформации; 5) тепловые испытания (в особых случаях); 6) снятие кривых намагничивания.

Сопротивление изоляции обмоток по отношению к корпусу и друг к другу измеряют мегомметром на напряжение 1000 *в*, а затем испытывают повышенным напряжением при помощи трансформатора напряжения или специальной испытательной установки.

Изоляцию обмоток стабилизирующих трансформаторов типа ТС испытывают переменным током напряжением 3000 *в* при частоте 50 *гц* в течение 1 *мин*.

Сопротивление обмоток постоянному току измеряют мостом. Во избежание при измерении опасного броска индуктивного тока цепь гальванометра следует разрывать до отключения аккумулятора.

Взаимную полярность обмоток проверяют на переменном токе методом автотрансформатора. Для этого перемычкой соединяют один вывод первичной обмотки с выводом вторичной (рис. XIV.12). На первичную многовитковую обмотку подают напряжение переменного тока. Если замкнутые выводы $A — A'$ обмоток имеют одинаковую полярность, вольтметр между свободными выводами $B — B'$ покажет меньшее напряжение, чем напряжение на первичной обмотке. При соединении выводов разной полярности вольтметр покажет напряжение более высокое, чем подведенное напряжение сети.

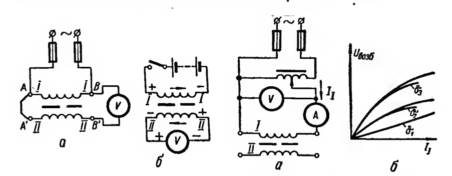


Рис. XIV.12. Схемы проверки полярности обмоток СТ.

Рис. XIV.13. Схема снятия характеристик намагничивания (*а*) и примерные характеристики намагничивания при различной величине немагнитных зазоров $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$ (*б*).

Полярность выводов обмоток может быть также проверена индуктивным методом с помощью аккумулятора и вольтметра (рис. XIV.12, *б*) аналогично согласованию выводов обмоток силовых трансформаторов.

Коэффициент трансформации обмоток измеряют между всеми выводами; данные измерений записывают в протокол и сверяют с данными каталога.

Если трансформатор не типовый, его следует испытать на нагрев, включая длительное время обмотки на рабочее напряжение постоянного тока. Установившаяся температура перегрева изоляции обмоток не должна превышать допустимых пределов (65—70° С). При необходимости нагрузочную способность обмоток определяют экспериментально, повышая постепенно ток и контролируя температуру нагрева.

Для расчета и облегчения наладки стабилизации сложных схем электропривода желательно иметь характеристики намагничивания СТ при разных воздушных зазорах сердечника (рис. XIV.13). С помощью последних можно оценить влияние абсолютной величины приложенного к СТ напряжения на характер стабилизации.

Характеристики намагничивания снимают при максимальном, нулевом и двух промежуточных значениях воздушного зазора. Зазор устанавливают с помощью деревянных прокладок, регулируя ток от нуля до номинальной величины. Технические данные СТ приведены в табл. XIV.11.

Таблица XIV.11

Основные данные СТ

Данные трансформатора	Тип трансформатора	
	ТС-72-60	ТС-144-110
Сечение активного железа, *см*²	40	150
Полное число витков обмотки I	4800	2620
Дополнительные отводы обмотки I	2970	1970
Полное число витков обмотки II	1100	1970
Дополнительные отводы обмотки II	800 и 935	1630 и 1790
Омическое сопротивление полной обмотки I при 20° С, *ом*	232	48
Омическое сопротивление полной обмотки II при 20° С, *ом*	10,3	27
Индуктивность полной обмотки I от основного поля при ненасыщенном сердечнике, *гн*	19—95	12,5—50
Индуктивность полной обмотки II от основного поля при ненасыщенном сердечнике, *гн*	1—5	7—28
Индуктивность поля рассеяния, *гн*:		
полная обмотка I	9,5	2,5
полная обмотка II	0,5	1,4
Номинальный длительно допустимый ток, *а*:		
обмотка I	0,3	1,4
обмотка II	1,4	1,8

7. Магнитные усилители

Магнитный усилитель (МУ) представляет собой электромагнитное устройство, в котором использован дроссель с подмагничиванием (постоянным током). МУ усиливает входной сигнал, создающий или изменяющий подмагничивающее поле.

Принцип действия магнитного усилителя МУ поясняется схемой на рис. XIV.14. Замкнутый магнитопровод намагничивается до частичного насыщения переменным током, протекающим по обмотке I.

Величина тока зависит от общего сопротивления цепи ($R_{наг}$; L_1; R_1), в которой индуктивность обмотки имеет решающее значение.

Если при этом через обмотку II пропустить постоянный ток, снизится индуктивность магнитопровода и увеличится (усилится) намагничивающий переменный ток, в цепи которого находится нагрузочное сопротивление $R_{наг}$. При создании специальных схем с положительной обратной связью и применении магнитопроводов, имеющих крутой порог насыщения, удалось построить усилители, намагничивающий ток которых возрастает во много раз при незначительном изменении подмагничивающего постоянного тока.

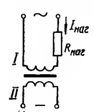


Рис. XIV.14. Принципиальная схема простейшего МУ.

МУ широко используют для автоматического регулирования напряжения генераторов, поддержания скорости двигателей и др.

Программа наладки магнитного усилителя определяется его типом и может быть разделена на два самостоятельные этапа: контрольные испытания и снятие характеристик.

Контрольные испытания

В объем контрольных испытаний МУ входит следующее.

1. Проверка плотности сборки и затяжки гаек на стяжных болтах. В двухпакетных МУ при открытом магнитопроводе оба пакета должны быть набраны из одинакового числа пластин. Надежность

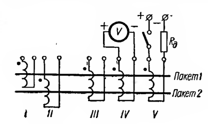


Рис. XIV.15. Схема проверки полярности обмоток МУ:

I — II — нагрузочные обмотки переменного тока; III — V — обмотки управления постоянного тока.

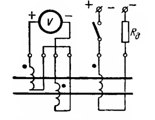


Рис. XIV.16. Схема проверки правильности соединения обмоток переменного тока МУ.

болтовых соединений или пайки выводов обмоток на клеммнике проверяют при внешнем осмотре и пошатывании проводов.

2. Испытание изоляции обмоток по отношению к магнитопроводу, друг к другу и к защитному кожуху (с помощью мегомметра на 1000 *в*). Сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,5 *Мом*.

3. Измерение омического сопротивления обмоток мостом.

4. Проверка взаимной полярности выводов обмоток.

МУ испытывают индуктивным методом по схеме, приведенной на рис. XIV.15. К началу одной из обмоток управления V через рубильник подводят «+» источника постоянного тока. Для ограничения величины тока в цепь обмотки вводят добавочное сопротивление $R_д$. К началу остальных обмоток поочередно подключают «+» вольтметра.

Если взаимная полярность обмоток указана правильно, в момент подачи напряжения стрелка вольтметра отклонится вправо. В МУ с внешней обратной связью намагничивающие обмотки I и II включают навстречу друг другу. При соединении их концов стрелка вольтметра, включенного к началу обмоток, не будет отклоняться. При неправильном взаимном включении или различном числе витков обмоток I и II во время импульсной подачи напряжения на обмотку управления стрелка значительно отклонится от нуля (рис. XIV.16).

5. Проверка числа витков обмоток по коэффициенту трансформации. Для проверки числа витков к одной из обмоток намагничивания (например, сбмотки I) подводят пониженное напряжение переменного тока. Вольтметром с большим сопротивлением измеряют напряжение на всех обмотках управления.

Величины напряжений должны относиться друг к другу, как число витков соответствующих обмоток:

$$\frac{U_{III}}{U_I} = \frac{w_{III}}{w_I}; \qquad \text{(XIV.4)}$$

$$\frac{U_{IV}}{U_I} = \frac{w_{IV}}{w_I}. \qquad \text{(XIV.5)}$$

Аналогично определяют число витков второй намагничивающей обмотки и других:

$$\frac{U_3}{U_2} = \frac{w_3}{w_2}. \qquad \text{(XIV.6)}$$

Снятие характеристик

Характеристики МУ снимают в тех случаях, когда это необходимо для настройки регулятора, в схему которого входит данный МУ.

Характеристику намагничивания $I_0 = f(U)$ снимают для оценки магнитопровода или выбора ступени питающего напряжения; она не зависит от схемы регулятора.

Регулируемое напряжение переменного тока подводят к отдельным обмоткам намагничивания (рис. XIV.17, *а*) и при его изменении снимают зависимость $I'_0 = f(U)$ для каждого пакета. Затем регули-

руемое напряжение подводят к последовательно-встречно включенным обмоткам I и II (рис. XIV.17, б) и снимают общую характеристику намагничивания $I_0 = f(U)$.

Во время испытаний по схеме, указанной на рис. XIV.17, б, при разных значениях питающего напряжения U измеряют напряжение на одной из многовитковых обмоток управления. При полностью идентичных пакетах стали на обмотках управления теоретически не должно быть напряжения, но практически из-за разной плотности шихтовки всегда имеет место небаланс, который обычно проявляется

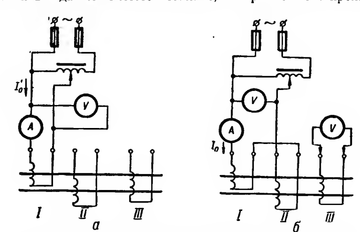


Рис. XIV.17. Схемы снятия характеристики намагничивания МУ.

до насыщения магнитопроводов. Если наблюдается слишком большое напряжение небаланса (больше 10% напряжения, определяемого коэффициентом трансформации), следует проверить шихтовку пакетов магнитопровода и число витков намагничивающих обмоток I и II.

Широкое распространение имеют схемы МУ с внешней последовательной обратной связью (рис. XIV.18) Обмотка III, охватывающая оба пакета стали, имеет число витков меньше (до 15%), чем каждая намагничивающая обмотка I и II, и обтекается выпрямленным током нагрузки. Нагрузка может быть включена и на стороне переменного тока. Благодаря обратной связи ток нагрузки $I_{\text{наг}}$ резко изменяется при небольшом изменении тока управления $I_{\text{у}}$.

Характеристику нулевого тока, показывающую зависимость тока нагрузки от напряжения питающей сети: $I_{\text{наг. 0}} = f(U)$, снимают при разомкнутых обмотках управления.

Основную характеристику $I_{\text{наг}} = f(I_y)$ снимают при номинальном для данного МУ напряжении (рис. XIV.19). Для сокращения влияния наводок со стороны переменного тока в цепь обмотки управления должно быть введено добавочное сопротивление $R_д$, в 10—15 раз превышающее сопротивление обмотки IV (см. рис. XIV.18).

Магнитные усилители двух-, трех- или шестифазного включения с внутренней обратной связью также характеризуются зависимостями $I_{\text{наг.}0} = f(U)$ и $I_{\text{наг}} = f(I_y)$. При внутренней обратной связи основная характеристика в области отрицательных токов управления имеет более пологий характер, чем при внешней.

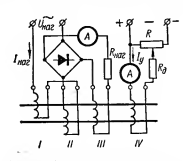


Рис. XIV.18. Схема снятия характеристики управления МУ с внешней обратной связью (R — потенциометр).

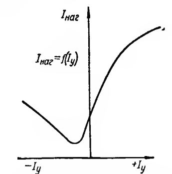


Рис XIV.19. Примерная характеристика МУ с внешней обратной связью.

Для получения бесконтактного импульса управления применяют МУ с релейной характеристикой. В этом случае незначительное изменение тока управления вызывает резкое изменение тока нагрузки от минимальной до максимальной величины, или наоборот. Релейность характеристики достигается обычно введением, наряду с последовательной, дополнительной параллельной обратной связи (рис. XIV.20, обмотка IV). В зависимости от величины намагничивающей силы (числа витков *aw*) обмотки параллельной обратной связи IV изменяется крутизна характеристики и при определенном ее значении характеристика МУ становится релейной. Следует иметь в виду, что импульсное возрастание тока нагрузки происходит при большем числе витков управления, чем снижение, поэтому регулировочные характеристики требуется снимать как при увеличении, так и при уменьшении числа витков управления.

На рис. XIV.21 приведены характеристики МУ, снятые при различной величине сопротивления R_c в цепи обмотки IV, параллельной обратной связи.

Ампервитки обмотки IV (характеристики *1—4*) находятся в следующем соотношении:

$$aw_{IV-1} < aw_{IV-2} < aw_{IV-3} < aw_{IV-4}. \qquad (XIV.7)$$

Характеристика *4* является релейной, так как достаточно незначительного изменения тока управления на рабочем участке (от $I'_у$ до $I''_у$), чтобы ток нагрузки $I_{наг}$ изменился почти в полном диапазоне.

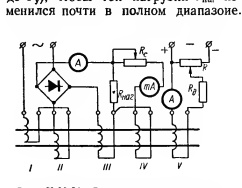
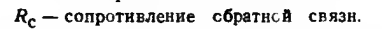


Рис. XIV.20. Схема снятия характеристик МУ при наличии внешних последовательной и параллельной обратных связей:


R_c — сопротивление обратной связи.

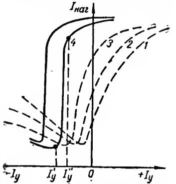


Рис. XIV.21. Примерные характеристики МУ при различном действии параллельной обратной связи.

Для оценки переходных режимов снимают временные характеристики — зависимость изменения тока нагрузки $I_{наг}$ во времени при резком изменении напряжения $U_у$ на контуре обмотки управления. Характеристики снимают осциллографом при различных значениях

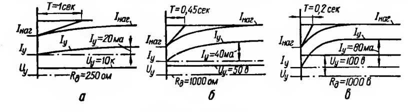


Рис. XIV.22. Осциллограммы процессов управления МУ с внешней обратной связью.

тока $I_у$ и добавочных сопротивлений $R_д$ в цепи управления (рис. XIV.22). Данные измерений и характеристики МУ используют при настройке автоматических регуляторов и градуировке измерительных систем.

8. Твердые выпрямители

Во время наладки нового оборудования, поступающего на монтаж комплектно, ограничиваются внешним осмотром и формовкой твердых выпрямителей по возможности без разработки схемы. При наладке отдельных сборок твердых выпрямителей, а также в тех случаях, когда характеристики твердых выпрямителей существенно влияют на режим работы установки, наладочные работы выполняются по расширенной программе:

1) проверяется правильность сборки и соответствие количества шайб выпрямителя величине фактически приходящегося на него напряжения;

2) проверяется соответствие сечения шайб выпрямителя величине фактически протекающего через них тока;

3) проверяется схема соединений шайб в столбике;

4) проверяется изоляция между шайбами и стальным стержнем;

5) осуществляется формовка напряжением и током;

6) испытывается выпрямитель на пробой запирающего слоя;

7) проверяется распределение напряжения по шайбам;

8) снимаются две характеристики — прямого и обратного тока.

Проверяя параметры выпрямителя, следует руководствоваться справочными данными. Для ориентировки в табл. XIV.12 приведены стандартные размеры шайб и номинальные нагрузки селеновых выпрямителей (при окружающей температуре 35° С).

Таблица XIV.12

Характеристика селеновых выпрямителей

Диаметр шайбы, *мм*	Рабочая поверхность, *см*	Ток нагрузки, *а*
17	0,07	0,005
19	1,4	0,04
25	3,0	0,075
35	6,9	0,15
45	11,45	0,3
67	22,85	0,6
86	41,8	1,2
100	69,5	1,6
112	87,2	2,0

Селеновые и медиозакисные выпрямители проходят на заводе-изготовителе формовку, после которой они получают устойчивые электрические параметры. Однако результаты испытаний показывают, что в значительном количестве случаев, особенно после длительного хранения без дополнительной формовки на месте монтажа, селеновые выпрямители работают неустойчиво, меняют внутреннее сопротивление, имеют повышенный ток обратной проводимости, а иногда пробиваются при включении под напряжение. Медиозакисные выпрямители, как правило, дополнительной формовки не требуют.

Формовка выпрямителей на месте монтажа

При формовке селеновых выпрямителей, находящихся в хорошем состоянии и хранящихся не больше двух — трех месяцев после изго-

говления можно ограничиться включением их на рабочее напряжение, используя выпрямитель нагрузки цепи. Выпрямитель включают на источник постоянного тока для запирания.

Селеновые выпрямители, изменение сопротивления которых может влиять на работу схемы управления, а также выпрямители с недостаточной электрической прочностью, формуют независимо от рабочей схемы с постепенным подъемом напряжения и тока до предельно

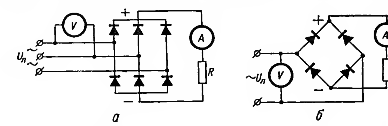


Рис. XIV.23. Схема формовки селеновых выпрямителей по первому способу:
а — трехфазная мостовая схема; *б* — однофазная мостовая схема.

допустимой величины. Формовка может быть произведена на переменном или постоянном токе одним из приведенных ниже способов.

Первый способ. Выпрямитель, собранный в одно- или трехфазную мостовую схему (рис. XIV.23), включают на переменный ток со стороны входа; выход замыкают на сопротивление R. Тогда

$$R = \frac{U_{обр.\ ном}n}{I_{ном}}, \qquad \text{(XIV.8)}$$

где $U_{обр.\ ном}$ — номинальное эффективное значение обратного напряжения на одну пластину (для однофазной мостовой схемы $U_{обр.\ ном} = 18$ *в*, для трехфазной $U_{обр.\ ном} = 15{,}5$ *в*); n = число последовательно соединенных пластин в плече схемы выпрямления; $I_{ном}$ — номинальное значение тока схемы выпрямления; для трехфазной мостовой схемы $I_{ном} = 2{,}5\ m$, для однофазной $I_{ном} = 1{,}6\ m$ (m — число параллельных ветвей в плече схемы выпрямления).

На вход выпрямителя в течение 10—15 *мин* подается линейное напряжение

$$U_л = (0{,}6 - 0{,}7)\, U_{обр.\ ном}, \qquad \text{(XIV.9)}$$

которое затем повышается до величины

$$U_л = U_{обр.\ ном}n. \qquad \text{(XIV.10)}$$

Это напряжение держится в цепи в течение 2 *ч*.

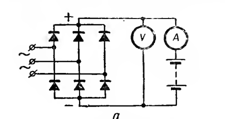
При формовке необходимо следить за величиной выпрямленного тока $I_д$, которая для трехфазной мостовой схемы не должна превышать 4,5 *m*, а для однофазной — 3,0 *m* (рис. XIV.24). Выпрямленный ток измеряют магнитоэлектрическими приборами.

Второй способ. К схеме выпрямления (рис. XIV.24) со стороны выхода подводят постоянное напряжение обратного знака:

$$U = U_{обр\ ном}n. \qquad (XIV.11)$$

Со стороны входа выпрямитель отключают от остальной схемы. По мере спадания обратного тока подводимое напряжение увеличивают до $U = 2U_{обр.\ ном}n$. При установившемся напряжении формовку продолжают в течение 2 *ч*.

Когда формовка производится таким образом, необходимо следить за нагревом селеновых пластин. Температура наиболее нагретой



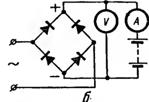


Рис. XIV.24. Схемы формовки селеновых выпрямителей по второму способу:
а — трехфазная мостовая схема. *б* — однофазная мостовая схема.

пластины, измеренная термопарой, не должна превышать 70—75° С, а измеренная термометром — 65—70° С.

Формовать выпрямители наиболее удобно и эффективно при питании от источника переменного тока. Процесс формовки на переменном токе следующий.

Подбирают нагрузочное сопротивление *R*, которое при полном напряжении обеспечивает средний ток нагрузки $I_{ср}$, равный 70—80% номинального.

Пример. Селеновый выпрямитель имеет 10 шайб диаметром 86 *мм* (рис. XIV.25). Согласно справочным данным, номинальный ток нагрузки $I_{наг.\ ном} = 1{,}2\ a$, предельное напряжение переменного тока (16 *в* на шайбу) $U_п = 160\ в$.

Необходимое нагрузочное сопротивление

$$R = K\frac{U_п}{I_{наг.\ ном}}. \qquad (XIV.12)$$

где K — коэффициент, учитывающий тепловое действие только одной полуволны синусоидального напряжения и некоторый запас от излишнего перегрева ($K = 0,6 - 0,7$).

В нашем случае

$$R = 0,65 \frac{160}{1,2} = 87 \text{ ом}.$$

С учетом собственного сопротивления выпрямителя принимаем $R = 70 - 80$ *ом.*

Выпрямитель с нагрузочным сопротивлением подключают к автотрансформатору типа ЛАТР или к потенциометру. Собранные по мостовой схеме выпрямители следует формовать, не разделяя на отдельные плечи (см. рис. XIV.23). При этом максимальное напряжение (по вольтметру) определяется количеством шайб в одном плече мостика, а допустимый ток (по амперметру) составляет 140—160% номинального тока шайбы.

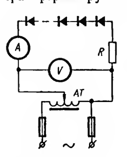


Рис. XIV.25. Схема формовки вентильного столбика с помощью источника переменного тока.

Постепенно в течение 5—15 *мин* напряжение на выпрямителе повышают от нуля до номинального (16 *в* на шайбу). В это время в выпрямителе иногда слышатся разряды, которые возникают в результате пробоя и распыления запорного слоя в отдельных точках. Если разряд не является тепловым пробоем, расплавляющим металл, в месте разряда образуется изоляционный пустотный слой. Когда разряды слышатся часто, необходимо понизить напряжение.

При полном напряжении и нагрузке, близкой к номинальной, выпрямитель следует держать включенным в течение 2—3 *ч*. Температура выпрямителя, нагруженного током, не должна превышать 75° С.

Выпрямитель отключают от напряжения переменного тока и включают на источник постоянного тока. Методом вольтметра — амперметра измеряют сопротивление выпрямителя при прямом и обратном токе (рис. XIV.26). Во время измерения при прямом токе ток нагрузки должен быть близким к номинальному. При обратном токе

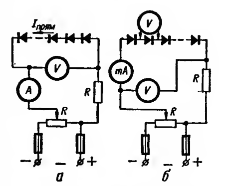


Рис. XIV.26. Схемы измерения сопротивления вентиля методом вольтметра — амперметра при прямом токе (*а*) и обратном (*б*).

напряжение на выпрямителе определяют из условия среднего падения напряжения на шайбе, равного примерно 12 *в*.

Повторно выпрямитель включают на напряжение переменного тока на 2—3 *ч*. По истечении повторной формовки вновь измеряют внутреннее сопротивление выпрямителя, и сравнивают результаты измерений.

Если внутреннее сопротивление осталось таким же, как после первой формовки, а ток обратной проводимостн (при полном напряженин) не превысил нормы (до 5% номинального), выпрямитель можно считать отформованным. В протнвном случае формовку переменным током следует продолжить.

Меднозакисные выпрямнтели формуют тем же методом, что н селеновые. При формовке напряжение на шайбу не должно превосходить 4—4,5 *в*.

Удовлетворительные результаты дает формовка меднозакисных и селеновых выпрямителей на постоянном токе при включении в сторону запирания тока.

Испытание и проверка исправности твердых выпрямителей

Селеновые выпрямителн рекомендуется проверять до формовки и после нее, определяя коэффициент выпрямления по току, а также его зависимость от сопротивления нагрузки (рис. XIV.27).

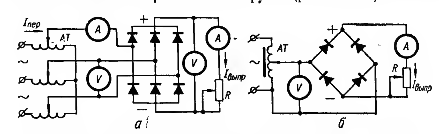


Рис. XIV.27. Схемы для определения исправности селеновых выпрямителей согласно коэффнцнеитам выпрямлення по току н напряжению:
а — трехфазная мостовая схема; *б* — однсфазная мостовая схема (R = 50 *ом*).

Коэффициент выпрямления по току равен отношению среднего выпрямленного тока к эффективному переменному току на входе:

$$\beta_I = \frac{I_{\text{выпр}}}{I_{\text{пер}}}. \qquad \text{(XIV.13)}$$

Значение β_I следует определять при

$$R = \frac{U_{\text{обр. ном}} n}{I_{\text{ном}}} \text{ и } R = 0,$$

где $U_{\text{обр. ном}}$ — номинальное обратное напряжение на одну пластину (в трехфазной мостовой схеме $U_{\text{обр. ном}} = 15{,}5$ *в*, в однофазной — $U_{\text{обр. ном}} = 18{,}0$ *в*); n — число последовательно соединенных пластин в плече схемы выпрямления; $I_{\text{ном}}$ — номинальное значение выпрямленного тока.

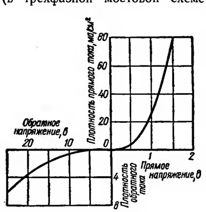


Рис. XIV.28. Характеристика селенового выпрямителя.

Выпрямленный ток измеряют магнитоэлектрическими приборами. Подводимое к схеме выпрямления напряжение должно быть таким, чтобы выпрямленный ток не выходил за пределы $I_{\text{ном}} = 2{,}5$ *т* (для трехфазной мостовой схемы) и $I_{\text{ном}} = 1{,}6$ *т* (для однофазной схемы).

Селеновые пластины считаются исправными, если коэффициент выпрямления по току для трехфазной мостовой схемы лежит в пределах 1,15—1,3 и для однофазной — 0,8—0,9, а также, если значение его практически не зависит от сопротивления нагрузки.

Коэффициент выпрямления по напряжению

$$\beta_U = \frac{\sqrt{3} U_{\text{выпр}}}{U_{\text{пер}} - \Delta U_{\text{л}}}, \qquad \text{(XIV.14)}$$

где $\Delta U_{\text{л}}$ — линейное падение напряжения на пластинах выпрямителей, которое определяют по схеме, приведенной на рис. XIV.28, когда выход схемы закорочен через амперметр ($R = 0$); $\Delta U_{\text{л}}$ равно эффективному значению линейного напряжения при номинальном выпрямленном токе; $U_{\text{выпр}}$ — выпрямленное напряжение, измеренное при номинальном выпрямленном токе; $U_{\text{пер}}$ — напряжение переменного тока на входе выпрямителя.

Коэффициент выпрямления определяют согласно схеме на рис. XIV.23. Для трехфазной мостовой схемы $\beta_U = 2{,}34$, для однофазной $\beta_U = 0{,}9$.

Чтобы проверить запирающий слой на пробой, выпрямитель включают через потенциометр на обратное напряжение (на запирание). Постепенно напряжение поднимают до 110—120% номинального.

У селеновых выпрямителей испытательное напряжение определяют из расчета среднего падения на шайбу 20—22 *в*, у купроксных — 5—5,3 *в*. Предельное напряжение, выдерживаемое одной селеновой шайбой, составляет 35—50 *в*.

Когда выпрямитель включают на обратное номинальное напряжение, магнитоэлектрическим вольтметром измеряют падение напряжения на каждой шайбе; полученные данные сравнивают между собой. Разность напряжений между отдельными шайбами не нормируется, но ориентировочно она не должна превышать 15—20% среднего напряжения на шайбе. В случае более значительных отклонений при сборке на месте монтажа выпрямитель должен быть дополнительно отформован или пересортирован. Шайбы одинаковых параметров нумеруют и собирают в отдельные столбики. Во время наладки нового оборудования следует избегать переборки твердых выпрямителей, так как могут нарушиться антикоррозийные покрытия и выйти из строя рабочий запорный слой.

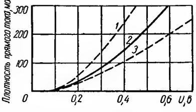


Рис. XIV.29. Характеристики меднозакисных выпрямителей с диаметром шайб 41 *мм*:

1 — высокое качество выпрямителя; *2* — среднее качество; *3* — низкое качество.

Для оценки внутреннего сопротивления выпрямителя определяют зависимость тока, протекающего через выпрямитель, от приложенного к нему напряжения прямой и обратной полярности. При снятии характеристик выпрямитель включают через потенциометр (см. рис. XIV.26); показания снимают так: 8—12 точек при прямом и 4—6 точек при обратном токе. Построенные по данным измерений характеристики (рис. XIV.28 и XIV.29) пересчитывают на единицу поверхности и сравнивают с данными каталогов.

Качество выпрямителя считается более высоким в том случае, если его внутреннее сопротивление меньше при прямом токе и больше при обратном. Отклонение характеристик испытуемого выпрямителя от типовых (в сторону понижения качества) не более чем на 15—20% обычно не отражается на работе схемы управления.

Параметры выпрямителей серии АВС и ТВС приведены в табл. XIV.13; характеристики выпрямителей указаны в табл. XIV.14 и XIV.15.

Таблица XIV.13

Размеры, активные площади, нормальные нагрузочные токи селеновых выпрямителей серий АВС и ТВС

Показатель	Диаметр, *мм*			Размер сторон прямоугольной пластины, *мм*															Диаметр, *мм*	
	5	7,2	12,5	12×12	15×15	15×15	12×24	12×36	22×22	30×30	40×40	40×40	60×60	75×75	100×100	100×200	100×300	100×400	18	25
Активная площадь, *мм*	0,07	0,28	1,06	1,0	1,2	1,7	2,2	3,4	3,4	7,2	12,4	14,4	27,9	46,9	86,8	175,4	266	360	1,2	3,4
Номинальный нагрузочный ток, *а*	0,0012	0,006	0,025	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,08	1,15	0,3	0,3	0,6	1,2	2,0	4,0	6,0	8,0	0,04	0,08
Плотность тока, *ма/см²*	17	21	23,6	40	33	42	27	23,5	—	21	24	21	21	25	23	23	22,5	22	33	23,5

Примечания. 1. Нормальный ток указан при работе элемента в среде, температура которой для серии АВС не выше 55 С° для ТВС — 60 и для АТ1 — 100° С.
2. Выпуск круглых элементов с диаметром больше 25 *мм* прекращен с 1961 г.

Таблица XIV.14

Допустимое обратное напряжение селеновых выпрямителей

Класс элемента	Допустимое обратное напряжение, *в*
В	20
Г	25
Д	30
Е	35
И	40
К	45

Таблица XIV.15

Основные характеристики выпрямителей

Показатель	Селеновые выпрямители		Выпрямители		
	на алюминиевом диске	на железном диске	медноза-кисные	германиевые	кремниевые
Допускаемая температура нагрева, °С	70—120	70—75	45—50	60—80	125
Плотность тока при окружающей температуре ± 20° С с соответственным охлаждением, *а/см²*	0,02—0,05	0,02—0,05	0,03—0,05	20—40	60—80
Допустимое обратное напряжение на элемент выпрямителя, *в*	25—45	20—25	8—10	70—280	70—425
Пробивное напряжение, *в*	60—100	50—80	20—300	100—400	100—600
Срок службы, *ч*	10 000	5000	—	—	—

Германиевые выпрямители

Элементы этих выпрямителей выдерживают высокое обратное напряжение, характеризуются малым сопротивлением в направлении прямого тока и очень высоким сопротивлением обратной проводимости.

Включение диодов в схему должно производиться согласно полярности, обозначенной на керамическом корпусе. Пластина из германия является катодом, а контактная пружина — анодом.

При пайке выводов во избежание разрушающего выпрямитель нагрева следует пользоваться припоем с низкой температурой плавления (например, припоем ПОС-40) и подносить паяльник только к концу вывода на 2—3 *сек.*

При снятии характеристик нельзя допустить, чтобы значения измеряемых параметров превышали паспортные данные, так как перегрузка приводит к непоправимому повреждению запорного слоя.

Плоскостные германиевые выпрямители можно соединять параллельно при выпрямлении сравнительно большого тока или последовательно при повышенном напряжении. В обоих случаях следует применять вентили только одного типа.

Если вентили соединены параллельно, величина суммарного выпрямленного тока определяется по таким формулам:
для диодов типа ДГ-Ц21 ÷ ДГ-Ц24

$$I_{\text{выпр}} = 0{,}3 + (n-1)\,0{,}2\,[a]; \qquad \text{(XIV. 15)}$$

для диодов типов ДГ-Ц25 ÷ ДГ-Ц27

$$I_{\text{выпр}} = 0{,}1 + (n-1)\,0{,}065\,[a], \qquad \text{(XIV. 16)}$$

где n — количество параллельно соединенных диодов.

9. Транзисторы

В расширенную программу наладки отдельно взятых транзисторов входят следующие элементы работ: а) проверка соответствия транзистора проекту; б) проверка правильности схемы включения и правильности монтажа; в) измерение тока проводимости и определение коэффициента усиления; г) снятие рабочих характеристик (при необходимости); д) определение зависимости рабочих характеристик от температуры (при необходимости); е) контрольная нагрузка и отбраковка транзисторов.

Параметры транзистора проверяют, сопоставляя паспортные данные с величинами, предусмотренными рабочей схемой. При этом

контролируют следующие максимальные величины: $I_к$ — ток коллектора; $U_{к.э.}$ — допустимое эффективное обратное напряжение; $P_к$ — мощность на коллекторе при работе без отвода тепла и с дополнительным экраном — теплоотводом; $\alpha = \frac{I_к}{I_б}$ — коэффициент усиления; $\Delta U_{к.э}$ — падение напряжения от прямого тока при полном открытии (насыщении).

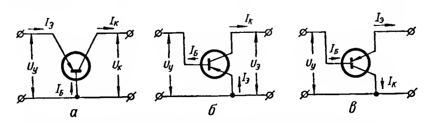


Рис. XIV.30. Схемы включения транзисторов:
а — с общей базой; *б* — с общим эмиттером; *в* — с общим коллектором ($I_б$, $I_э$, $I_к$ — ток соответственно базы, эмиттера, коллектора; $U_у$, $U_э$, $U_к$ — напряжение управления, эмиттера к коллектора).

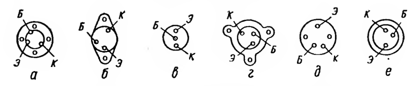


Рис. XIV.31. Расположение выводов транзисторов различных типов:
а — П4; *б* — П201; *в* — П13; *г* — П209; *д* — П207; *е* — П302 (*К* — коллектор, *Э* — эмиттер; *Б* — база)

На рис. XIV. 30 показаны схемы включения, а на рис. XIV. 31 — расположение выводов некоторых широко распространенных триодов. Принадлежность выводов легко проверить с помощью омметра. Омметр из всех возможных присоединений к выводам фиксирует хорошую проводимость только в направлении от эмиттера к базе. Во избежание повреждения рабочего перехода омметр должен иметь высокое внутреннее сопротивление и подключаться только на короткое время.

Расположение транзистора должно способствовать его охлаждению. В случае применения радиатора для улучшения теплоотдачи рекомендуется с помощью щупа толщиной 0,03 *мм* проверить плотность прилегания его к транзистору.

Для транзисторов типа П4 поверхность радиатора рассчитывают из условия 12 *см*² теплоотдающей поверхности на 1 *вт* рассеиваемой

мощности. В зависимости от температуры окружающей среды $t_{окр}$ устанавливают предельные значения мощности $P_{макс}$. В выбранном примере для транзистора П4 имеем $P_{макс} = 25$ *вт* при $t_{окр} = 30° C$ и $P_{макс} = 15$ *вт* при $t_{окр} = 50° C$.

Для германиевых триодов заводы-изготовители часто указывают предельно допустимую температуру перехода $\tau_п$ и коэффициент зависимости максимальной мощности от температуры окружающей

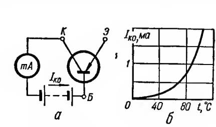


Рис. XIV.32. Схема измерения обратного тока коллекторного перехода (*а*) и примерная характеристика транзисторов типа П201—П203 (*б*).

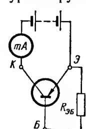


Рис. XIV.33. Схема измерения начального тока коллектора.

среды $k = \Delta\tau/\Delta P$ [*град/вт*]. По этим данным для заданной величины $t_{окр}$ ориентировочно может быть рассчитана предельно допустимая мощность

$$P_{макс} = \frac{\tau_п - t_{кор}}{k}\ [вт], \qquad \text{(XIV. 17)}$$

где $t_{кор}$ — температура корпуса.

При хорошем теплоотводе температура корпуса превышает окружающую температуру на 10—15° С [$\Delta\tau_п = (10—15)° C$].

Примеры. 1. Транзистор типа П4: $\tau_п = 90° C$; $k = 2$ *град/вт*; $t_{окр} = 30° C$, тогда

$$P_{макс} = \frac{\tau_п - t_{окр} - \Delta\tau_п}{k} = \frac{90 - 30 - 10}{2} = 25\ вт.$$

2. Транзистор типа П201: $\tau_п = 100° C$; $k = 3{,}5$ *град/вт*; $t_{окр} = 40° C$, тогда

$$P_{макс} = \frac{100 - 40 - 15}{3{,}5} \simeq 12\ вт.$$

Первоначально качество транзистора контролируют при измерении тока проводимости специализированными устройствами или по простейшим испытательным схемам.

Обратный ток коллекторного перехода $I_{ко}$ измеряют миллиамперметром и маломощным источником постоянного тока (рис. XIV. 32,а)

при напряжении, равном примерно 50% допустимого. Значения тока $I_{ко}$ не должны превышать 0,2—0,5% номинального тока коллектора. При увеличении температуры германиевых транзисторов величина $I_{ко}$ удваивается на каждые 8—15° С, а у кремниевых — на каждые 5—10° С.

Ток $I_{ко}$ слагается из тока внутренней проводимости и тока поверхностной утечки. Ток объемной внутренней проводимости мал по величине, не изменяется со временем, мало зависит от напряжения $U_к$ и резко увеличивается при повышении температуры транзистора (рис. XIV. 32, *б*).

Начальный ток коллектора $I_{кн}$ определяют по схеме, приведенной на рис. XIV. 33. Во время контрольных измерений эмиттер должен быть соединен с базой. На заводах-изготовителях транзисторы испытывают при сопротивлении $R_{эб} = 50 — 500$ *ом*; только в отдельных случаях, при неприсоединенной базе, измеряют так называемый сквозной ток $I'_{ко}$.

Однако во время наладки не допускается повторять такие испытания, так как незначительное повышение температуры или сквозного тока вызывает повреждение транзистора.

Надежность транзисторов оценивают по следующим показателям. Транзисторы подвергают воздействию переменной нагрузки по току и напряжению, приближающейся к номинальной. Периодически отключают нагрузку и после остывания измеряют $I_{кн}$ и $I_{ко}$, определяют коэффициент усиления по току. Транзистор можно считать надежным, если указанные величины изменяются в пределах $\pm 10\%$ на протяжении испытательного срока.

Измерения в цепях с транзисторами без разборки схемы

Большинство схем с транзисторами собирают путем пайки. Отключение отдельных элементов для проверки следует считать неправильным.

Сопротивления и емкости, не отсоединенные от схемы, измеряют обычными методами, однако наличие общих цепей с транзисторами вносит существенные затруднения при измерении. Во время измерения сопротивлений прибор надо подключать таким образом, чтобы полярность источника питания была встречной по отношению к проводящим цепям транзистора и, естественно, чтобы величина напряжения была значительно ниже допустимого обратного напряжения. Если параллельно сопротивлению включена емкость, измерение следует производить после окончания зарядки конденсатора.

Емкости C, включенные параллельно с сопротивлениями R, можно измерить методом вольтметра — амперметра с последующим учетом активной составляющей тока, проходящего через сопротивление.

Таблица XIV. 18

Основные данные германиевых и кремниевых транзисторов

Тип транзистора	Максимальное напряжение коллектора, *в*	Максимальный ток коллектора, *ма*	Коэффициент усиления по току	Коэффициент усиления по мощности	Мощность, продолжительно рассеиваемая коллектором, *мвт*	Вес, *г*	Наибольшая частота усиливаемого сигнала $\times 10^3$, *гц*	Схема включения
П1А			0,9	30				
П1Б			0,93—0,97	33			100	
П1В			0,93—0,97	37				
П1Г	—20	—	0,96	37	50	2,5		XIV. 30, *б*
П1Д			0,94	33			1000	
П1Е			0,94	30				
П1Ж			0,95	35			1000	
П1И			0,96	—				
П2А	—100	10	—	17	250	2,5	20	XIV. 30, *а*
П2Б	—50	25	—	17	250	2,5		
П3А		150		17				
П3Б	—50	250	2	20	3500	8	20	XIV. 30, *б*
П3В		450		25				
П4А	—50		5					
П4Б	—60		8—20					
П4В	—35	5000	10	—	—	14	20	XIV. 30, *б*
П4Г	—50		10—20					
П4Д	—50		20					
П5А			0,93					
П5Б			0,95—0,975					
П5В	—10	10	0,97—0,995	—	25	0,65	300	XIV. 30, *а*
П5Г			0,97—0,995					
П5Д			0,95—0,975					
П7	—6,5	45	0,97—0,995	—	45	0,65	—	—
П8, П9							100	
П9А, П10	+20	50	0,9—0,90	—	150	2	500	
П11							1000	
П201	—30		20					XIV. 30, *б*
П201А	—30	1500	40	—	10000	8,2	20	
П202	—45		20					
П203	—60		20					
П12							5000	
П406	—6	5	0,95	—	30	—	10000	—
П407							20000	

Тип транзистора	Максимальное напряжение коллектора, *в*	Максимальный ток коллектора, *ма*	Коэффициент усиления по току	Коэффициент усиления по мощности	Мощность, продолжительно рассеиваемая коллектором, *мвт*	Вес, *г*	Наибольшая частота усиливаемого сигнала $\times 10^3$, *гц*	Схемы включения
П401	−10	10	0,94	—	—	2	30000	—
П402			0,14				60000	
П403			0,94—0,97				120000	
П403А			0,97				120000	
П404	4,5	5	0,93	—	10	1,2	10000	—
П404А			0,93				10000	
П405			0,95				30000	
П405А			0,95				30000	
П101	20	20	0,9	—	150	2	200	—
П101А	20		0,9				200	
П102	10		0,93				465	
П103	10		0,9				1000	
П104	100	10	0,9	—	150	2	100	—
П105	45						200	
П106	45						465	

Примечания.

1. Транзисторы типа П101—П103 кремниевые плоскостные; П104—П106 кремниевые точечные; остальные транзисторы — германиевые.
2. Транзисторы германиевые типа П401—П403А диффузионные, а П404—П405А поверхностно-барьерные предназначены для генерирования и усиления высокочастотных колебаний.
3. Для транзисторов типа П3А, П3Б, П3В указана наибольшая продолжительно рассеиваемая коллектором мощность при наличии дополнительного внешнего теплоотвода площадью не меньше 50 *см*².

Более простым является измерение с помощью мостика, у которого параллельно варьируемой емкости подключено сопротивление R. При контроле схем с радиолампами наиболее показательна величина напряжения на электродах лампы, а в цепях с транзисторами — соотношение токов. Величину тока без разрыва цепей можно определить только расчетным путем по данным измерения напряжения на известных установочных сопротивлениях. Когда для измерения тока включают амперметр, схему нужно распаивать не у транзистора, а около удаленных цепей во избежание излишнего нагрева вывода триода.

Собственное сопротивление миллиамперметра иногда искажает соотношение величин в контуре с транзистором; при этом для изме-

рення тока можно включить в контролируемую цепь малоомный шунт и определить падение напряжения на нем с помощью микроамперметра.

Диапазон рабочих температур транзисторов:

Тип транзистора	t, °C
П1А, П1И, П2А — П2Б, П3А — П3В, П5А — П5Д	От —60 до 50
П401 — П403А, П404 — П405, П406 — П407, П12	» —60 » 80
П4А — П4Д	» —60 » 90
П8 — П11, П13 — П15, П201 — П103	» —60 » 100
П101 — П106	» —60 » 120

Параметры германиевых и кремниевых транзисторов указаны в табл. XIV.16.

10. Ионно-электронная аппаратура

Проведение испытаний

Электронную аппаратуру (ЭА) применяют в схемах автоматизированного электропривода для усиления слабых сигналов и получения быстродействующего управления.

Основными элементами электронных схем являются радиолампы, а вспомогательными — различные конденсаторы, дроссели, добавочные сопротивления и т. п.

При наладке схем автоматического управления ЭА, как правило, по элементам не испытывают и не регулируют; контролируют и настраивают только общие характеристики регуляторов. Однако при отыскании повреждений в электронных схемах, подборе резервных элементов и проверке заводских технических данных необходимо знать приемы испытаний и снятия характеристик ЭА.

Большинство измерений в электронных схемах производится без их разборки. Для измерений в ионно-электронных схемах наибольшее распространение получили комбинированные приборы (ампервольтметры).

Проверка сопротивлений. В этом случае проверяют надежность пайки выводов и целость поверхности сопротивлений.

Изоляцию сопротивлений проверяют мегомметром вместе с другими элементами схемы. В зависимости от величины сопротивления измеряют или омметром, или тестером типа ТТ1, или мостиком. Омметр и тестер позволяют оценивать сопротивление с точностью до 2—5%. Для исключения параллельных цепей, которые могут исказить результаты, иногда вынимают из розеток лампы или отпаивают выводы сопротивлений.

Проверка конденсаторов. Отсутствие пробоя конденсатора проверяют омметром. Испытывают конденсаторы мегомметром на напряжение 500 *в*. Перед испытанием необходимо убедиться, что цепь конденсатора разомкнута хотя бы с одной стороны выводов. Электролитические конденсаторы могут быть пробиты, если напряжение мегомметра превышает их номинальное напряжение. При испытании необходимо соблюдать определенную полярность подключения прибора. Бумажные конденсаторы, как правило, выдерживают напряжение, не менее двухкратного номинального.

Качество конденсатора может быть проверено по тому, как он сохраняет полученный заряд. Небольшие конденсаторы проверяют при нескольких последовательных подключениях омметра. Если после первого подключения конденсатор зарядился и не разряжается от внутренней утечки, то при последующих подключениях не будет подзарядки и стрелка прибора не даст отклонений. Для проверки отсутствия утечки конденсаторы заряжают напряжением, равным примерно номинальному, а затем через 5—10 *мин* после отключения оценивают их качество по силе искры при замыкании накоротко.

Емкость конденсатора обычно измеряют методом вольтметра-амперметра на переменном токе. Электролитические конденсаторы не допускают приложения напряжения переменного тока, но если их номинальное напряжение составляет 300—400 *в*, измерение емкости при напряжении 5 *в* вполне допустимо.

В качестве источника напряжения может быть использован автотрансформатор типа ЛАТР-2, а при измерении сопротивления электролитических конденсаторов для получения низких напряжений — котельный трансформатор 220/12 *в*.

При измерении емкости до 10 *мкф* приборами обычного типа вольтметр желательно подключать до амперметра со стороны питающей сети, при бо́льших емкостях — после амперметра, ближе к измеряемой емкости.

Емкостное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U}{I}, \qquad \text{(XIV.18)}$$

где

$$C = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{I}{U} = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{I}{U}.$$

Примеры. 1. Требуется проверить бумажный конденсатор с номинальным напряжением 150 *в* и предполагаемой емкостью 6 *мкф*.

При измерении $U = 100$ *в*, $I = 185$ *ма*. Тогда

$$C = \frac{10^6}{314} \cdot \frac{0{,}185}{100} = 5{,}8 \text{ мкф}.$$

2. Требуется проверить электролитический кондеисатор с иоминальным напряженнем 450 *в* и предполагаемой емкостью 20 *мкф*. Испытательиое напряжение $U = 4$ *в*, вольтметр напряжеиием 15 *в* имеет внутреииее сопротивление 15 000 *ом* (1000 *ом* на 1 *в*).

По данным нзмереинй при $U = 4$ *в* н $I = 23$ *ма* находим

$$C = \frac{10^6}{314} \cdot \frac{0{,}023}{4} = 18{,}3 \text{ мкф}.$$

Электронные лампы

Проверку новых электроиных ламп (ЭЛ), устаиавливаемых взамен ламп, отслужнвших гарантнйиый срок, можно ограничнть внешннм осмотром, коитролем целостн цепи накала н отсутствия замыканий между остальиыми штырьками. Сеть иакала при проверке эмиссии ЭЛ питается либо от трансформатора, либо от аккумулятора.

При наладке электроиных регуляторов нли ниых сложиых схем управления, а также в случае отсутствня типовых характеристик лампы нспытывают более детально прнмерно в следующем порядке.

1. Проверяют прочность креплення штырьков и надежиость армировки колбы в цоколе.

2. Путем прозвоики устанавлнвают целость ннти иакала.

3. Мегомметром иа напряженне 500 *в* проверяют изоляцню между всеми элемеитами лампы (между иитью иакала н отдельным катодом, катодом н сеткой, сеткой н анодом, между сетками н т. п.), сопротивление изоляции между деталями отдельной лампы должио быть не ниже 5 *Мом*.

4. Проверяют эмиссию лампы, характернзующую способность нити накала нзлучать электроны.

При нспытании иескольких одинаковых ламп, нз которых хотя бы одна может служить эталоном, эмиссию удобно проверять косвенным методом, без подачи анодного напряжения, с помощью омметра, подключаемого между сеткой н накалом. Во время подключения к разным лампам показание омметра должио составлять не менее 80% зиачеиия при нспытании эталонной лампы.

Для измереиия абсолютиой величнны тока эмиссин служат специальные переносые нспытательные установкн, дающне возможность подбирать напряжеиие иакала, напряженне аиода и иагрузочные сопротивления (см. рис. XIV.37). Полученные прн испытанин значення анодного тока сравинвают с каталожнымн даиными лампы.

В отдельных случаях требуется уточнить зависнмость тока накала от возможных колебанні иапряжения источника питаиия. Для этой целн с помощью схемы, приведенной на рнс. XIV.34, *а* снимают вольт-амперную характеристнку (рис. XIV.34, *б*):

$$I_{\text{нак}} = f(U_{\text{нак}}).$$

При испытании напряжение накала повышают небольшими ступенями до 110—120% номинального, а затем снижают до нуля. Во время снятия характеристики после каждого повышения напряжения для оценки величины тока необходимо ждать, пока не прекратится постепенное изменение тока, вызываемое повышением сопротивления нити накала от нагрева. Сопротивление раскаленной (при номинальном токе $I_{нак}$) нити накала обычно в 12—15 раз превышает ее сопротивление в холодном состоянии.

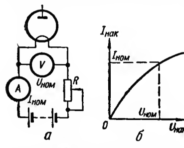


Рис. XIV.34. Схема снятия (*а*) и примерная вольт-амперная характеристика (*б*) накала электронной лампы.

Кенотроны. Для испытания кенотрона собирают схему согласно рис. XIV. 35.

Питание накала берут от аккумулятора (два или три элемента) или от специального трансформатора накала на 2,5 или 5 *в*. В цепь накала включают регулировочный реостат *R*.

Кенотрон получает номинальный накал, движком потенциометра устанавливают наименьшее анодное напряжение $U_а$ и по миллиамперметру измеряют величину анодного тока $I_а$. Затем делают еще пять-

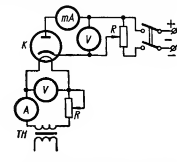


Рис. XIV.35. Схема испытания кенотрона с трансформатором накала ТН.

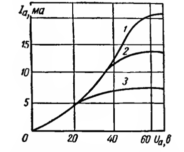


Рис. XIV.36. Вольт-амперные характеристики кенотрона: *1* — $U_{ном} = 4$ *в*; *2* — $U_{ном} = 3{,}5$ *в*; *3* — $U_{ном} = 2{,}5$ *в*.

шесть наблюдений, постепенно увеличивая анодное напряжение; последние два отсчета должны быть произведены при двух значениях анодного напряжения, когда величина анодного тока остается постоянной.

Следующий опыт выполняют по указанной выше схеме и тем же методом, но напряжение накала немного уменьшают против номинального. Третий опыт выполняют с еще более сниженным напряжением накала.

В протокол испытаний записывают параметры лампы: тип, рабочее напряжение, ток эмиссии, напряжение и ток накала. Данные измерений сводят в таблицу. Вольт-амперные характеристики кенотрона приведены на рис. XIV. 36.

Триоды. Анодное напряжение триода изменяют потенциометром (рис. XIV. 37). Сетка лампы питается постоянным током от акку-

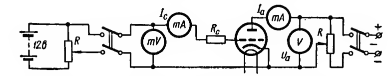


Рис. XIV.37. Схема испытания триода (для снятия анодно-сеточных характеристик).

муляторной батареи 12 *в*. Для ограничения сеточного тока I_c в цепь включают сопротивление $R_c = 3000$ *ом*. Цепь накала питается от аккумуляторных элементов или от трансформатора накала напряжением 2,5 или 5 *в*.

Сеточную характеристику снимают при постоянном анодном напряжении U_a, равном 50; 75; 100; 125 *в*. Изменять сеточное напряжение U_c можно в обе стороны от нуля до величины, соответствующей насыщению анодного тока, наблюдая изменение I_a и I_c.

Анодную характеристику триода снимают при постоянном сеточном и переменном анодном напряжении. Опыт производят три раза: для $U_c = 0$; $U_c > 0$; $U_c < 0$. Анодное напряжение повышают до тех пор, пока не обнаружится явное насыщение, т. е. пока не прекратится рост анодного тока. Номинальное значение анодного тока обычно соответствует перегибу, «колену», снятой характеристики.

Электронные усилители (фотодатчики, термосигнализаторы и пр.) рассчитывают на основе анодно-сеточных характеристик (рис. XIV.38): $I_a = f(U_c)$. При наладке и испытаниях регуляторов часто необходимо снимать и регулировочные характеристики радиоламп (см. рис. XIV.37).

Для ламп с несколькими сетками снимают характеристики, соответствующие различным напряжениям смещения. По регулировочным характеристикам отдельных ламп строят или рассчитывают характеристики узлов и автоматических устройств в целом.

При построении сеточной и анодной характеристик триода в протокол испытания записывают параметры лампы (тип лампы, рабочее

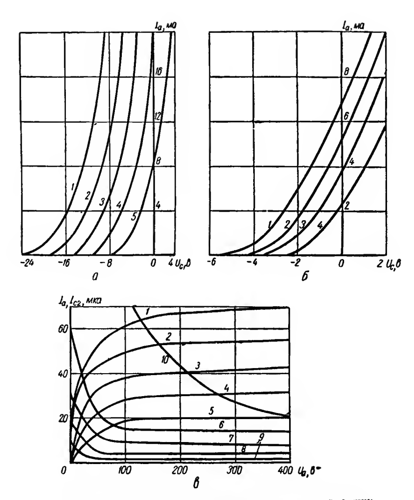


Рис. XIV.38. Примерные анодно-сеточные характеристики:

а — двойной диод-триод типа 6Г-1 (*1* — U_a = 300 *в*; *2* — U_a = 250 *в*; *3* — U_a = 200 *в*; *4* — U_a = 150 *в*; *5* — U_a = 100 *в*); **б** — двойной диод-триод типа 6Г-Г (*1* — U_a = 250 *в*; *2* — U_a = 200 *в*; *3* — U_a = 150 *в*; *4* — U_a = 100 *в*) **в** — выходной пентод типа 6П9 (*1* — *5* — анодные характеристики первой сетки; *6* — *9* — сеточно-анодные характеристики второй сетки; *10* — наибольшая допустимая мощность рассеивания анодом ($U_{нак}$ = 6,3 *в*, U_a = 300 *в*; U_{c1} = 3 *в*, U_{c2} = 150 *в*, U_{c3} = 0).

напряжение, ток эмиссии, сеточное напряжение, напряжение и ток накала). На основании измеренных величин строят такие характеристики: сеточную $I_а = f(U_с)$ при $U_а = \text{const}$ и $U_{нак} = \text{const}$ и анодную $I_а = f(U_а)$ при $U_с = \text{const}$ и $U_{нак} = \text{const}$ (рис. XIV.39 и XIV.40). По построенным характеристикам рассчитывают параметры триода.

Крутизна характеристики

$$S = \frac{\Delta I_а}{\Delta U_с} \ [ма/в] \qquad \text{(XIV.19)}$$

показывает, насколько изменяется анодный ток при изменении напряжения сетки на 1 *в* и постоянном анодном напряжении.

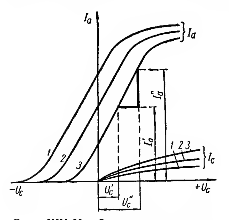


Рис. XIV.39. Сеточные характеристики триода:

$1 - U_а = 150$ *в*; $2 - U_а = 100$ *в*; $3 - U_а = 50$ *в*.

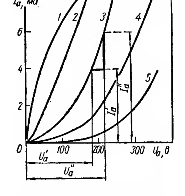


Рис. XIV.40. Анодные характеристики триода:

$1 - U_с = 8$ *в*; $2 - U_с = 4$ в; $3 - U_с = 0$; $4 - U_с = -4$ *в*; $5 - U_с = -8$ *в*.

В прямолинейной части характеристики имеют одинаковый наклон, поэтому крутизну можно рассчитать по одной из них, выбирая две точки на прямолинейной части:

$$S = \frac{I''_а - I'_а}{U''_с - U'_с}. \qquad \text{(XIV.20)}$$

Внутреннее сопротивление лампы можно также определить по анодным характеристикам для прямолинейной части:

$$R_1 = \frac{U''_а - U'_а}{I''_а - I'_а}. \qquad \text{(XIV.21)}$$

Коэффициент усиления

$$\mu = \frac{U''_a - U'_a}{U''_c - U'_c}. \qquad (XIV.22)$$

В формулах XIV.20—XIV.22 $I''_a - I'_a$ — приращение тока анода; $U''_c - U'_c$ — приращение напряжения сетки.

Максимально допустимая мощность потерь на аноде триода

$$P_{a\,макс} = I_a U_a. \qquad (XIV.23)$$

Если при работе лампы мощность ее больше $P_{a\,макс}$, анод может нагреться до состояния расплавления.

Газонаполненные лампы

Благодаря использованию газонаполненных ламп можно получить значительно бо́льшие выходные мощности, чем при вакуумных лампах. Поэтому газонаполненные лампы применяют в схемах электропривода в качестве управляемых выпрямителей для питания машин постоянного тока, создания источников стабильного напряжения и для других целей.

Газотрон. У нерегулируемых газонаполненных ламп — газотронов — при наладке проверяются прочность выводов и армировки,

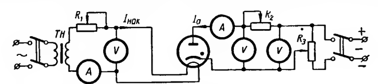


Рис. XIV.41. Схема испытания газотрона с трансформатором накала ТН:

R_1 — регулировочное сопротивление накала; R_2 — нагрузочный реостат анода; R_3 — потенциометр.

целость цепи накала и изоляция между катодом и анодом. В отдельных случаях снимается вольт-амперная характеристика.

Газотроны испытывают согласно схеме на рис. XIV.41. Анодное питание газотрона подается от цепи постоянного тока через потенциометр. Цепь накала присоединена к трансформатору накала или к аккумуляторной батарее.

При включении газотрона нельзя одновременно включать напряжение накала и анода. Вначале следует включить напряжение накала и дать прогреться катоду в течение нескольких минут (для каждого типа лампы время прогрева разное). При работе газотрона нельзя допускать колебаний напряжения свыше $\pm 5\%$.

После прогрева катода рубильником при полном введенном сопротивлении потенциометра следует включить анодную цепь. Постепенно увеличивая напряжение, отмечают анодное напряжение газотрона и ток в момент его зажигания. С этого момента баллон газотрона должен засветиться фиолетовым цветом. Далее повышают напряжение и фиксируют показания приборов. Опыт можно вести до получения значения $I_а$, не превышающего 10—15% номинального тока газотрона.

Во все время опыта (четыре-пять наблюдений) $U_а$ почти не изменяется. Если начнется заметное повышение этого напряжения, опыт следует прекратить во избежание порчи газотрона. При опыте напряжение накала $U_{нак}$ следует поддерживать на номинальной величине.

В протокол испытаний записывают параметры газотрона: тип лампы, длительный и кратковременный рабочие токи, максимальное анодное напряжение, напряжение зажигания, падение напряжения между электродами, напряжение и ток накала, время прогрева катода, средний срок службы.

По данным измерений строят характеристику газотрона: зависимость тока в цепи нагрузки газотрона от напряжения источника питания, $I_а = f(U)$; $U_г = f(U)$ (рис. XIV.42).

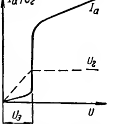


Рис. XIV.42. Характеристика газотрона.

До момента зажигания в газотроне происходит электронный разряд, а по достижении напряжения $U_з$ — ионный разряд. На графике наносят также кривую падения напряжения на газотроне $U_г$, величина которого практически должна быть постоянной. Подъем кривой будет соответствовать области не рекомендуемой работы газотрона.

Тиратроны — это газонаполненные лампы с сеточным управлением. При наладке таких ламп проверяют изоляцию сетки. Для проверки тиратронных регуляторов снимают пусковые характеристики на постоянном или переменном токах.

Для снятия пусковой характеристики собирают схему, подобную приведенной на рис. XIV.43. Накал катода берут от трансформатора накала ТН, ток и напряжение которого регулируют реостатом согласно данным паспорта тиратрона. После включения накала надо выждать время для прогрева катода. Это время, указанное на паспорте тиратрона, обычно составляет 20—30 *мин*. Между сеткой и катодом подают напряжение $U_с$ от источника постоянного тока через потенциометр. Для ограничения сеточного тока в цепь сетки должно быть включено защитное сопротивление 10^3—10^5 *ом*.

Анодное напряжение подводится от цепи постоянного тока через потенциометр или же переменным током через лабораторный автотрансформатор. Анодной нагрузкой является реостат.

Пусковую характеристику (рис. XIV.44, *а*), которая представляет собой зависимость сеточного напряжения от анодного — $U_с = f(U_а)$, снимают в следующей последовательности. На сетку лампы подают минимальный отрицательный потенциал. Реостат R_2 вводят

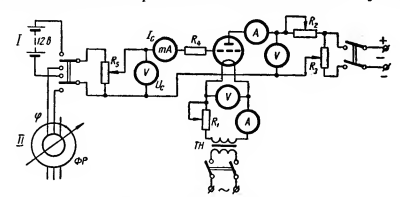


Рис. XIV.43. Схема испытания тиратрона:

I — при определении пусковой характеристики; II — при получении регулировочной характеристики; R_1 — регулировочный реостат в цепи накала; R_2 — нагрузочный реостат в цепи анода; R_3 — потенциометр анода; R_4 — ограничительное сопротивление сеточного тока; R_5 — потенциометр сетки.

полностью, постепенно повышая анодное напряжение до зажигания тиратрона, и записывают показания приборов. Затем снижают напряжение до погасания тиратрона, увеличивают отрицательный потенциал на сетке и анодное напряжение до нового зажигания. Таким же образом проводят опыт с подачей положительного потенцнала на сетку. В протокол испытания записывают тип и параметры тиратрона. Данные измерений (U; $I_а$; $U_а$; $U_{нак}$; $I_{нак}$) записывают в таблицу.

Если характеристика лежит выше осн абсцисс ($U'_с$), она называется положительной, а если ниже ($U''_с$) — отрнцательной. Тиратроны, имеющие малые отверстия в сетке, обладают положительной характеристикой, а с большими отверстиями — отрицательной.

По пусковой характеристике определяется коэффициент управления сеткой

$$\mu = \frac{U_а}{U_с}, \qquad (XIV.24)$$

который зависит от напряжения на сетке.

Для снятия вольт-амперной характеристики тиратрона пользуются схемой, приведенной на рис. XIV.43, снижая потенциал сетки до нуля. Анодное напряжение подают номинальной величины, потенциал сетки постепенно увеличивают. В момент зажигания тиратрона измеряют анодный ток и напряжение на сетке. Дальнейшее повышение потенциала сетки не будет оказывать влияния на анодный ток. Когда снижается потенциал сетки, анодный ток не прекращается.

Вольт-амперная характеристика тиратрона представляет собой зависимость анодного тока от потенциала сетки (рис. XIV.44, *б*).

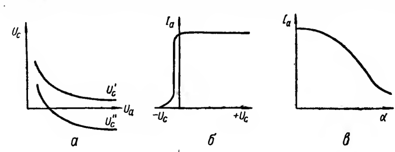


Рис. XIV.44. Характеристики тиратрона:
а — пусковые; *б* — вольт-амперная, *в* — регулировочная.

В отличие от триода анодный ток тиратрона почти сразу устанавливается до максимальной величины и остается постоянным при изменении потенциала сетки.

Для получения регулировочной характеристики собирают схему согласно приведенной на рис. XIV.43. Потенциометр присоединяют к источнику переменного тока через фазорегулятор ФР.

Опыт проводят в следующей последовательности. Фазорегулятор ФР ставят на совпадение напряжения с питающей сетью ($\alpha = 0$). Затем подают номинальное напряжение и такое сеточное напряжение, чтобы тиратрон зажегся. Плавно сдвигая ротор регулятора, наблюдают анодный ток при поддержании постоянной величины как сеточного, так и анодного напряжения.

На рис. XIV.44, *в* приведена регулировочная характеристика, представляющая собой зависимость среднего значения выпрямленного тока от угла сдвига фаз сеточного и анодного напряжений.

Стабиловольт — газонаполненный аппарат тлеющего разряда. Его действие основано на поддержании постоянного напряжения дуги. Стабиловольт проверяется на прочность выводов и изоляцию между элементами; последняя испытывается путем прозвонки при напря-

женнн ниже напряження загорания. Характеристика стабиловольта снимается по схеме, приведенной на рнс. XIV.45.

Бареттер — газонаполненный аппарат, нспользуемый для поддержания неизменного тока. Действие аппарата основано на изме-

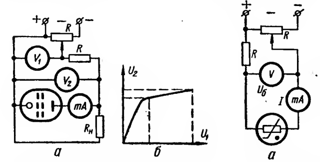


Рис. XIV.45. Схема испытания (*а*) и примерная характеристика стабиловольта (*б*).

Рис. XIV.46. Схема испытания (*а*) и примерная характеристика (*б*) бареттера.

ненин сопротивления н теплоотдачи нити накала при нагреве. Бареттер проверяется на прочность выводов н целость нити накала. Характеристика снимается по схеме, приведенной на рис. XIV.46.

11. Катушки электроаппаратов

(пересчет на новые параметры)

К магнитным пускателям и катушкам переменного тока предъявляют следующие требования: а) аппарат должен четко работать при снижении напряжения на зажимах втягивающей катушки до 85% номинального; б) предельное превышение температуры катушек над окружающей температурой при напряжении на зажимах катушки, равном 105% номинального, должно быть 85° С при измерении методом сопротивления или 65° С при нзмерении термометром. Оптимальной температурой окружающей среды принято считать 35° С.

Формулы для расчета

Сечение голого, круглого провода определяется из выражения

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854\ d^2\ [мм^2], \qquad (XIV.25)$$

где d — диаметр провода, *мм*.

Плотность отожженной обмоточной меди равна 8,9. Вес 1 *м* обмоточной меди диаметром d рассчитывается по формуле

$$Q = 7d^2 = 8{,}9S \ [г]. \qquad (XIV.26)$$

Омическое сопротивление провода

$$R = \frac{\rho l}{S} \ [ом]. \qquad (XIV.27)$$

где ρ — удельное сопротивление отожженной обмоточной меди, $\rho = 0{,}01754$; l — длина провода, *м*.

Пересчет сопротивления R_t медного голого провода длиной 1 *км*, сечением $S = 1$ *мм*^{2} при температуре t на сопротивление R_{20} того же провода при температуре 20° С производится по формуле

$$R_{20} = R_t + 0{,}068 \ (20 - t). \qquad (XIV.28)$$

При пересчете катушек на новое напряжение, число витков катушки должно быть прямо пропорционально напряжению:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

откуда (XIV.29)

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1}.$$

Сечение провода катушки обратно пропорционально напряжению:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{U_2}{U_1} \text{ или } \frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{U_2}{U_1},$$

откуда

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}. \qquad (XIV.30)$$

Пример. Катушку пускателя напряжением 220 *в* со следующими данными: число витков $w_{220} = 2120$, диаметр провода $d_{220} = 0{,}25$ *мм*, марка провода ПЭЛ необходимо пересчитать на 380 *в*.

Определяем число витков на 380 *в* согласно формуле (XIV.29):

$$w_{380} = 2120 \frac{380}{220} = 3660.$$

Диаметр провода катушки на 380 *в* определяем из выражения (XIV.30):

$$d_{380} = 0{,}25 \sqrt{\frac{220}{380}} = 0{,}19 \text{ мм}.$$

Тормозные электромагниты постоянного тока
(исполнение для параллельного включения)

Примеры 1. Необходимо пересчитать катушку на напряжение 200 *в*. Данные катушки тормоза постоянного тока типа КМП-3 (в исполнеиии для параллельиого включения) следующие: $U_1 = 220$ *в*; отиосительиая продолжительиость включения (по отношению к продолжительности цикла) ПВ=25%; $d_1 = 0{,}59$ *мм*; $w_1 = 6528$; $R_1 = 96$ *ом*; марка провода ПЭЛ; диаметр провода с нзоляцией $D_1 = 0{,}64$ *мм*.

Днаметр провода по меди иовой катушкн

$$d_2 = 0{,}59 \sqrt{\frac{220}{200}} = 0{,}628 \text{ мм}.$$

Ближайшие диаметры провода по стандарту: диаметр голого провода $d_2 = 0{,}62$ *мм*; диаметр провода с изоляцией $D_2 = 0{,}67$ *мм*.

Число витков новой катушки

$$w_2 = 6528 \frac{0{,}64^2}{0{,}67^2} = 5954.$$

Сопротивление новой катушки при температуре 20° С

$$R_2 = \frac{w_2 d_1^2}{w_1 d_2^2} R_1, \qquad \text{(XIV.31)}$$

или

$$R_2 = \frac{5954 \cdot 0{,}59^2}{6528 \cdot 0{,}62} 96 = 79{,}2 \text{ ом}.$$

2. Катушка тормозного магнита тнпа МП-200 имеет такне расчетные параметры: ПВ = 40%; $d_1 = 0{,}41$ *мм*; $D_1 = 0{,}45$ *мм*; $w_1 = 7250$; $R_1 = 289$ *ом*; марка провода ПЭЛ. Требуется пересчитать катушку иа режим ПВ=60%. Определяем диаметр провода по меди иовой катушки:

$$d_2 = d_1 \sqrt[4]{\frac{ПВ_1}{ПВ_2}}, \qquad \text{(XIV.32)}$$

или

$$d_2 = 0{,}41 \sqrt[4]{\frac{40}{60}} = 0{,}374.$$

По стандарту ближайшие днаметры провода следующие:

$$d_2 = 0{,}38 \text{ мм}; \ D_2 = 0{,}42 \text{ мм}.$$

Число витков новой катушки

$$w_2 = 7250 \frac{0{,}45^2}{0{,}42^2} = 8350.$$

Сопротивление катушки при температуре 20° С

$$R_2 = \frac{8350 \cdot 0{,}41^2}{7250 \cdot 0{,}38^2} 289 = 388 \text{ ом}.$$

Примечание. Катушки постояииого тока контакторов, солеиоидиых приводов, реле, автоматических выключателей и других аппаратов могут быть пересчитаиы на другое напряжеиие и другой режим тем же методом, что и катушки тормозиых электромагиитов постояииого тока.

Тормозные электромагниты постоянного тока
(исполнение для последовательного включения)

Данные электромагнита следующие: номинальный ток катушки I_1; режим $ПВ_1$. Обмоточные данные катушки (сериесной): сечение шины $a_1 \times b_1$; число витков w_1; сопротивление катушки R_1; толщина межвитковой изоляции шины σ.

Необходимо пересчитать катушку электромагнита и определить следующие данные новой катушки для тока I_2; a_2; w_2; R_2 (режим нагрузки остается прежним).

Если ширина шины b_1 и толщина межвитковой изоляции σ остаются прежними, толщину шины новой катушки можно определить по формуле

$$a_2 = a_1 \frac{I_2}{I_1} \ [\text{мм}]. \tag{XIV.33}$$

По стандарту выбирают толщину шины a_2. Если сечение берут меньше расчетного, то увеличивается тяговое усилие катушки и повышается её нагрев. При выборе большего сечения тяговое усилие и нагрев катушки уменьшаются.

Число витков новой катушки

$$w_2 = w_1 \frac{(a_1 + \sigma)}{(a_2 + \sigma)}. \tag{XIV.34}$$

Сопротивление новой катушки при температуре 20° С

$$R_2 = \frac{w_2 a_1}{w_1 a_2} R_1 \ [\text{ом}]. \tag{XIV.35}$$

Тормозные электромагниты и другие аппараты переменного тока

Данные электромагнита следующие: U_1; режим $ПВ_1$; d_1; w_1; D_1. Требуется пересчитать катушку на напряжение U_2.

Число витков новой катушки

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1}.$$

Диаметр изолированного провода новой катушки

$$D_2 = D_1 \sqrt{\frac{w_1}{w_2}} \ [мм]. \qquad (XIV.36)$$

По таблице находим ближайший меньший диаметр даниой марки провода D_2 и соответствующий ему диаметр голого провода d_2.

Сопротивление новой катушки при температуре 20°С

$$R_2 = \frac{w_2 d_1^2}{w_1 d_2^2} R_1 \ [ом].$$

По этому методу могут быть пересчитаиы даииые катушек и других аппаратов.

Максимально допустимая температура токоведущих частей низковольтных аппаратов и оборудоваиия распределительиых устройств иапряжеиием до 500 *в* включительно (ГОСТ 403—41; 2221—43; 2327—43; 2491—44) приведена в табл. XIV.17.

Таблица XIV.17

Максимально допустимая температура

Части устройств или аппаратов	Температура, °С	
	нагрева	перегрева
Болтовые контактные соедииеиия и сжимы медных шин распределительных устройств и перемычек контактов и пускателей:		
ие защищеииые в местах контактов	90	55
защищеииые слоем серебра	120	85
защищеииые слоем полуды или кадмия . . .	100	65
Контактные соедииеиия медных шин, выполиеииые с помощью пайки или сварки	120	85
Щеточные контакты аппаратов, клиновые контакты штепселей из меди и ее сплавов	70	35
Скользящие и стыковые массивные контакты из меди и ее сплавов	110	75
То же, ио с контактиыми пластинами из серебра или металлокерамических контактов иа осиове серебра	120	85
Блок-контакты контакторов и пускателей латуииые или стальные с контактиой частью из серебра или меди или металлокерамических материалов иа осиове серебра	85	50
Детали рубильников: из меди и ее сплавов, стальные детали со склепаниыми или свинчеииыми контактиыми соедииеииями	90	55
Стальные детали рубильников, между которыми производится размыкаиие цепи или к которым подводится ток через пружиияящие контакты . .	65	30
Контакты предохраиителей	120	85

12. Предохранители

При новом включении предохранители проверяют в следующем объеме: а) осуществляют внешний осмотр, чистку, проверку контактных соединений; б) проверяют правильность выбора номинального тока плавкой вставки; в) проверяют селективность последовательно включенных вставок; г) снимают характеристики $t = f(I)$.

Номинальный ток плавкой вставки должен быть возможно ближе к допустимой длительной нагрузке защищаемого проводника с учетом условий его прокладки (ПУЭ, III-1-3) и превосходить ее не более чем в три раза (ПУЭ, III-1-7).

Ток срабатывания мгновенного автомата может превосходить длительно допустимый для защищаемого присоединения ток не более чем в 4,5 раза (ПУЭ, III-1-7).

Указанные выше номинальные токи плавких вставок предохранителей могут завышаться для надежной отстройки от самозапуска двигателей, для достижения селективности и т. п. В этом случае плавкие вставки достаточно проверить по надежной работе при к. з.

Выбор предохранителей

Номинальное напряжение плавкой вставки должно удовлетворять условию

$$U_{\text{в ном}} \geqslant U_{\text{с}}, \qquad \text{(XIV.37)}$$

где $U_{\text{с}}$ — напряжение сети, в которой устанавливается плавкая вставка.

Предельно отключаемый ток плавкой вставки должен удовлетворять условию

$$I_{\text{в. пред}} \geqslant I_{\text{к.з. макс}}, \qquad \text{(XIV.38)}$$

где $I_{\text{к.з.макс}}$ — максимальный ток к. з., протекающий в цепи, защищаемой предохранителем.

Номинальный ток плавкой вставки рассчитывается по формуле

$$I_{\text{в ном}} = K_{\text{н}} I_{\text{наг. макс}}, \qquad \text{(XIV.39)}$$

где $I_{\text{наг.макс}}$ — максимальный длительный ток нагрузки;

$K_{\text{н}}$ — коэффициент надежности, величина которого зависит от характера нагрузки; при постоянной нагрузке $K_{\text{н}} = 1{,}1—1{,}2$, при переменной (например, у электродвигателей, потребляющих при пуске и самозапуске ток, значительно превышающий номинальный) $K_{\text{н}} = 2—2{,}5$.

При выборе плавкой вставки для электродвигателей в формулу (XIV.39) подставляется номинальный ток электродвигателя $I_{\text{ном}}$.

Вторым условием, определяющим номинальный ток плавкой вставки, является отстройка от тока перегрузки:

$$I_{\text{в. ном}} = \frac{I_{\text{пер}}}{K_{\text{п}}}, \qquad \text{(XIV.40)}$$

где $K_{\text{п}}$ — коэффициент перегрузки, при перегрузке в течение 2—3 *сек* (легкие условия) $K_{\text{п}} = 2{,}5$, при перегрузке в течение 10 *сек* (тяжелые условия) $K_{\text{п}} = 1{,}5$—2. При частых пусках электродвигателей с легкими условиями выбор плавкой вставки производят по коэффициенту $K_{\text{п}}$ для тяжелых условий (табл. XIV.18). Для цепей ТН и оперативного тока по этим данным коэффициент $K_{\text{п}}$ следует принимать равным 2,5—2,0.

Таблица XIV.18

Рекомендуемые величины коэффициента перегрузки для выбора плавких вставок предохранителей

Предохранитель		Металл вставки	$K_{\text{п}}$	
Тип	Марка		Легкий пуск и самозапуск при нагруженном механизме	Тяжелый пуск и самозапуск при нагруженном механизме
Инерционный	Е-27 и Е-33 до 35 *а*	Свинец	Пусковой ток не учитывается, вставка выбирается по номинальному току двигателя	3,75
	СПО	Медь		
	Модернизированный ПР-1	Цинк		
Малоинерционный	ПР-1	Цинк	3	2
	П при $I_{\text{в}} \geq 35$ *а*	Медь		
Безынерционный	Е-33 при $I_{\text{в}} = 60$ *а*	Серебро	2,5	1,6
	КП, НПН, НПР, П при $I_{\text{в}} < 35$ *а*	Медь		

Чтобы обеспечить надежность работы предохранителей (отсутствие перегрева, окисления и ложного сгорания), рекомендуется не

нагружать их током, большим чем 50% тока, способного расплавить вставку за время толчковой нагрузки. Например, если продолжительность толчка $t_т = 10$ *сек* (тяжелые условия), а ток, плавящий вставку за 10 *сек*, $I_{10} = 3I_в$ (по защитным характеристикам), то допустимый ток толчковой нагрузки

$$I_т = 0{,}5I_{10} = 0{,}5 \cdot 3I_в.$$

Отсюда

$$I_в = \frac{I_т}{1{,}5}.$$

Если продолжительность толчка нагрузки $t_т = 2$ *сек* (легкие условия) и ток, плавящий вставку за 2 *сек*, $I_2 = 5I_в$ (по защитным характеристикам), то

$$I_т = 0{,}5I_2 = 0{,}5 \cdot 5I_в,$$

откуда

$$I_в = \frac{I_т}{2{,}5}.$$

В жилых домах, бытовых и общественных помещениях плавкие вставки должны удовлетворять условию

$$I_{в.\ ном} = 0{,}8I_{доп.\ пров}, \qquad \text{(XIV.41)}$$

где $I_{доп.\ пров}$ — длительно допустимый ток провода.

Для надежного отключения к. з. плавкие вставки должны удовлетворять следующим условиям.

При установке на защищаемом присоединении магнитных пускателей, не рассчитанных на отключение токов к.з.:

$$I_{в.\ ном} = \frac{I_{кз}}{20 \div 25}; \qquad \text{(XIV.42)}$$

при отсутствии магнитных пускателей

$$I_{в.\ ном} = \frac{I_{кз}}{10}. \qquad \text{(XIV.43)}$$

В цепях электромагнитов включения приводов выключателей при выборе предохранителей номинальный ток плавких вставок ориентировочно можно принимать равным 30—40% номинального тока электромагнита.

В цепях вторичной коммутации электростанций и подстанций (в цепях оперативного тока, контрольно-измерительных приборов,

во вторичных цепях ТН для питания защиты и др.) для надежной отстройки от толчков тока плавкие вставки выбираются только для защиты от к. з.

Чтобы обеспечить малую длительность перегорания вставки, отношение тока к. з. к номинальному току вставки должно быть значительным:

$$\frac{I_{кз}}{I_в} \geqslant 10.$$

В цепях вторичной коммутации следует применять плавкие предохранители закрытого типа, в частности, предохранители типа ППТ10 с плавкими вставками типа ВТФ6 на 6 *а* или ВТФ10 на 10 *а*, рассчитанные для присоединения проводов сечением от 1,5 до 4 *мм*².

Плавкие вставки предохранителей, защищающих аккумуляторные батареи типа *С*, выбирают на 2,5-кратный ток трехчасового режима разряда с округлением в сторону ближайшей большей по шкале вставки. Плавкие вставки предохранителей, защищающих аккумуляторные батареи типа СК, ЭП и СТ, выбирают на двухкратный ток одночасового режима разряда с округлением в сторону ближайшей меньшей по шкале вставки.

Проверка и испытание предохранителей напряжением свыше 1000 в

Перед тем как поставить предохранитель под рабочее напряжение, необходимо проверить соответствие его типо-размеров проектным данным, убедиться в целости плавкой вставки, проверить сопротивление изоляции, испытать предохранители повышенным напряжением.

Целость плавкой вставки проверяют визуально (если это возможно), пробником, омметром или мегомметром.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром между токоведущими частями и заземленным основанием, на котором крепят предохранители. Величину сопротивления изоляции не нормируют.

Электрическую прочность изоляции испытывают повышенным напряжением только для предохранителей с рабочим напряжением свыше 1000 *в* по методике и схемам, приведенным в главе III. Испытательное напряжение имеет те же величины, что и у проходных изоляторов. Испытательный ток предохранителей определяют по данным табл. XIV.19.

Плавкие вставки и предохранители понизительных трансформаторов выбирают по данным табл. XIV.20, предохранители типа ПК — согласно данным табл. XIV.21. В табл. XIV.22 приведены диаметры проволок для плавких предохранителей, а в табл. XIV.23 — свинцовых предохранителей.

Таблица XIV.19

Длительность приложения и значения испытательного тока предохранителей (ГОСТ 2213—43 и 3041—45)

Напряжение предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, *а*	Длительность приложения испытательного тока, *ч*	Испытательный ток, *а*	
			нижнее значение	верхнее значение
Низкое	6—10	1	$1{,}5I_{ном}$	$2{,}1I_{ном}$
	15—20—25	1	$1{,}4I_{ном}$	$1{,}75I_{ном}$
	35—350	1	$1{,}3I_{ном}$	$1{,}6I_{ном}$
	430—1000	2	$1{,}3I_{ном}$	$1{,}6I_{ном}$
Высокое . . .	До 200	1	$1{,}3I_{ном}$	$2{,}0I_{ном}$

Примечания.

1. Плавкая вставка должна плавиться не при нижнем значении испытательного тока, а при верхнем в течение указанного в таблице времени.
2. Для предохранителей, изготовленных своими силами, должна быть проверена температура наружных контактов, которая не должна превышать 120° С (перегрев 85° С при температуре окружающей среды 35° С).

Таблица XIV.20

Данные для выбора плавких вставок и предохранителей понизительных трехфазных трансформаторов

Мощность трансформатора, *ква*	Номинальный ток плавкой вставки или предохранителя, *а*							
	при напряжении на стороне НН, *в*				при напряжении на стороне ВН, *в*			
	127	220	380	500	2100	3150	6300	10500
5	25	15	10	—	5	3	2	—
10	50	25	15	—	7,5	5	3	2
20	100	50	30	25	15	10	5	3
30	150	80	50	30	20	15	7,5	5
50	250	125	80	50	30	20	10	7,5
75	350	200	125	80	40	30	15	10
100	500	250	150	125	50	40	20	15
135	2×350	350	200	150	50	50	30	15
180	3×350	500	300	200	75	75	40	20
240	2×500	2×350	400	300	100	75	40	30
320	3×500	3×300	500	350	—	100	50	40

Примечания

1. Плавкие вставки и предохранители испытывают от нагрузочного трансформатора (на ток от 0 до 1500*а*).
2. При проверке плавких вставок и предохранителей необходимо определить наибольший ток, который вставка выдерживает в течение 1 *ч* не перегорая.
3. Селективность следует проверить на основании сопоставления характеристик предохранителей, характеристик защиты и данных расчетов токов к. з.

Таблица XIV.21

Технические данные предохранителей типа ПК для защиты силовых трансформаторов

Номинальный ток, *а*		Номинальная трехфазная мощность, *ква*, трансформатора при напряжении, *кв*					Номинальный ток, *а*		Номинальная трехфазная мощность, *ква*, трансформатора при напряжении, *кв*				
трансформатора	предохранителя	2	3	6	10	35	трансформатора	предохранителя	2	3	6	10	35
0,5	2	—	—	5	10	—	20	40	—	100	180	320	1000
1	3	—	5	10	20	50	30	50	100	—	320	560	—
1,9	5	5	10	20	30	100	54	75	180	240	560	750	—
3	7,5	10	—	30	50	180	70	100	—	320	750	1000	—
5	10	—	20	50	75	—	100	150	320	560	1000	1500	—
8	15	20	30	75	100	320	145	200	560	750	1500	2500	—
10	20	—	50	100	180	560	210	300	750	1000	2000	—	—
14,5	30	50	75	135	240	—	300	400	1000	1500	—	—	—

Примечание. Для напряжения 2 *кв* применяют предохранители на 3 *кв* со специальной вставкой для 2 *кв*.

Таблица XIV.22

Диаметр проволок для плавких предохранителей, *мм*

Ток при плавке, *а*	Свинец	Сплав: свинец 75% олово 25%	Медь	Железо
1	0,21	—	0,05	0,12
2	0,33	—	0,09	0,19
3	0,43	—	0,11	0,25
4	0,52	—	0,14	0,30
5	0,60	0,62	0,16	0,42
10	0,95	0,98	0,25	0,55
15	1,25	1,28	0,33	0,72
20	1,54	1,56	0,40	0,87
25	1,76	1,80	0,46	1,01
30	1,98	2,04	0,52	1,15
40	2,40	2,47	0,63	1,39
50	2,78	2,86	0,73	1,61
60	3,14	3,24	0,82	1,81
70	3,48	3,59	0,91	2,01
80	3,81	3,92	1,00	2,20
90	4,12	4,24	1,08	2,38
100	4,42	4,55	1,16	2,55
120	4,99	5,14	1,31	2,88
140	5,53	5,70	1,45	3,19
160	6,04	6,23	1,59	3,49
180	6,53	6,74	1,72	3,77
200	7,01	7,23	1,84	4,05
250	8,14	8,38	2,14	4,70
275	8,67	8,94	2,28	—
300	9,19	9,47	2,41	—

Таблица XIV.23

Диаметры и сечение пластин свинцовых предохранителей

Максимально допустимый в предохраняемом проводе ток, *а*	Свинцовый провод			Максимально допустимый в предохраняемом проводе ток, *а*	Свинцовые пластины		
	Диаметр проволоки, *мм*	Поперечное сечение проволоки, *мм*²	Длина проволоки, *мм*		Сечение пластины, *мм*	Поперечное сечение пластины, *мм*²	Длина пластины, *мм*
0,5	0,02	—	20	—	2×11	22	60
1	2×0,02	—	20	150	2×13	26	60
2	0,3	0,07	20	160	2×14	28	60
3	0,4	0,12	20	166	2×15	30	60
4	0,5	0,19	20	180	2×16	32	60
5,5	0,6	0,30	20	183	2×16,5	33	60
7,7	1,0	0,78	20	192	2×17	34	70
11,5	1,2	1,25	30	205	2×18	36	70
17	1,5	1,77	30	225	3×14	42	70
28	1,8	2,54	30				
35	2,0	3,14	30	250	3×16	48	70
45	2,3	4,19	40	275	3×18	54	70
56	2,5	4,90	40				
70	3,0	7,00	50				
85	3,5	9,6	50				
90	4,0	12,5	50				
103	4,3	14,0	50				
110	4,5	15,9	50				
118	4,7	17,5	50				
125	5,0	19,6	60				

Приведенные в табл. XIV.23 данные приблизительные, так как величина тока, плавящего проволоку, зависит не только от диаметра, но и от ее длины, качества закрепления, температурных и других условий.

Ток плавления медной проволоки определяют по формуле

$$I = 80\sqrt{d^3},$$

где d — диаметр провода.

ГЛАВА XV
КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

1. Общие испытания

Кабельные линии должны быть испытаны в объеме, предусмотренном ПУЭ, I-8-37. Кабели считаются выдержавшими испытания, если не произошло пробоя, не было скользящих разрядов и толчков тока утечки или его нарастания, после того как он достиг установившейся величины.

При испытании повышенным напряжением выпрямленного тока испытательное напряжение и продолжительность испытаний должны быть не ниже следующих величин.

Кабель с бумажной изоляцией:

Номинальное напряжение кабеля, *кв*	3—10	20—35	110	220
Испытательное напряжение, *кв*	$6U_{ном}$	$5U_{ном}$	300	400
Продолжительность испытания, *мин*	10	10	15	15

Кабель с резиновой изоляцией:

Номинальное напряжение кабеля, *кв*	3	6
Испытательное напряжение, *кв*	6	12
Продолжительность испытания, *мин*	5	5

Испытание кабелей напряжением 1000 *в* и ниже производится мегомметром на напряжение 1000—2500 *в*. Продолжительность испытания 1 *мин*.

Для кабельных линий напряжением 110—220 *кв* взамен испытания выпрямленным током допускается испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Величина испытательного напряжения для линий 110—250 *кв* (145 *кв* по отношению к земле), для линий 220—500 *кв* (288 *кв* по отношению к земле). Продолжительность испытания 5 *мин*.

Измерение сопротивлений заземлений концевых заделок на линиях всех напряжений, а также металлических конструкций кабельных колодцев и подпиточных пунктов на линиях 110—220 *кв* следует производить согласно ПУЭ, 1-7.

Для маслонаполненных линий 110—220 *кв* необходимо проводить такие дополнительные испытания.

1. Определение характеристик масла из всех элементов линии. Пробы масла С-220, отбираемые из различных элементов кабельной линии, а также пробы масла МН-3, отбираемые из камер низкого давления концевых муфт линий высокого давления и из баков давления линий всех типов, должны удовлетворять данным табл. XV.1.

2. Испытание на наличие нерастворенного воздуха на всех секциях линий низкого и среднего давлений. Содержание нерастворенного воздуха в масле в секциях линии низкого и среднего давлений должно быть не более 0,1%.

Таблица XV.1

Характеристика масел при пробивной прочности 180 *кв/см* и кислотном числе (КОН) 0,02 *мг*

Показатель	Норма для вновь вводимой линии (через трое суток после заливки)	
	Масло С-220	Масло МН-3
tg δ при 100° С	0,005	0,008
Степень дегазации, % . . .	0,5	1,0

3. Опробование системы сигнализации давления масла.

4. Испытание подпитывающих агрегатов и автоматического подогрева концевых муфт на линиях высокого давления (для зимнего времени).

5. Контроль состояния антикоррозийного покрытия стального трубопровода (производится по местным инструкциям).

При внешнем осмотре силовых кабельных линий проверяется: а) соответствие технических данных требованиям проекта; б) конструкция, качество изготовления и заливки концевых воронок, свинцовая оболочка и броня кабеля; в) наличие и качество монтажа заземления концевых воронок, свинцовой оболочки и брони кабеля; г) разводка и крепление жил кабеля; д) качество изготовления и состояние пайки наконечников; е) качество прокладки и крепления кабеля, а также наличие устройств, защищающих кабель от повреждений, воздействия солнечных лучей и других источников тепла; ж) смещение жил к краю воронки (сближение жил между собой не допускается).

Измерение сопротивления изоляции имеет целью выявить грубые нарушения целости изоляции.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром на напряжение 1000—2500 *в* (рис. XV.1). Измерение производят до испытания ка-

беля повышенным напряжением и после испытания. Напряжение мегомметра прикладывают между испытуемой жилой кабеля и землей при заземлении всех других жил. Отсчет по шкале мегомметра должен производиться через одинаковые промежутки времени (60 *сек*). Величина сопротивления изоляции не нормируется.

Электрическую прочность изоляции испытывают повышенным выпрямленным напряжением (рис. XV.2). На время испытания кабеля повышенным напряжением свинцовую оболочку и броню кабеля заземляют.

В качестве источника выпрямленного напряжения применяют кенотронный аппарат *К*. Когда испытательное напряжение плавно

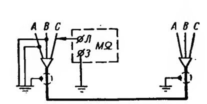


Рис. XV.1. Схема измерения сопротивления изоляции жил кабеля мегомметром типа M1101, MC-05.

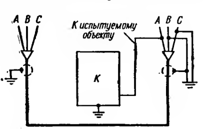


Рис. XV.2. Схема испытания электрической прочности изоляции кабеля выпрямленным высоким напряжением.

повышают от нуля до заданной величины, следят за показаниями киловольтметра и миллиамперметра. По достижении установившейся величины испытательного напряжения у кабелей с хорошей изоляцией ток утечки с течением времени плавно уменьшается, достигая 0,2—0,5 *ма*; у кабелей с нарушенной изоляцией ток утечки скачкообразно увеличивается и достигает значительной величины, если не наступает пробой изоляции, сопровождающийся увеличением тока утечки. В этом случае автоматы кенотронного аппарата отключаются.

2. Определение повреждений кабельных линий

При измерениях на кабельных линиях необходимо соблюдать правила безопасности.

Повреждение кабельной линии НН находят с помощью мегомметра. При этом измеряют сопротивление изоляции каждой токоведущей жилы кабельной линии по отношению к земле и между каждой парой токоведущих жил. Целость токоведущих жил определяют при установке перемычки на одном конце кабеля.

Для кабельной линии ВН характер повреждения выявляется поочередным испытанием каждой жилы с заземлением и без заземления остальных выпрямленным напряжением от кенотронной установки. При этом напряжение поднимают до величины испытательного.

Чтобы определить характер сложного повреждения (двойные разрывы жил кабеля, повреждение изоляции жил в разных местах и т. п.) применяют измерители кабельных линий типа ИКЛ-4 и ИКЛ-5.

Методы определения места повреждения в силовых кабельных линиях делятся на две группы: 1) относительные методы, дающие возможность определять расстояние от места измерения до места повреждения; 2) абсолютные методы, дающие возможность указывать место повреждения непосредственно на трассе (географически).

Для определения места повреждения кабеля пользуются обычно двумя методами — относительным и абсолютным.

К абсолютным методам относят индукционный и акустический (табл. XV.2). Относительные методы: а) петлевой; б) емкостный; в) импульсный; г) колебательного разряда.

Таблица XV.2

Рекомендуемые методы нахождения места повреждения кабеля

Переходное сопротивление в месте повреждения	Пробивное напряжение в месте повреждения, *кв*	Характер повреждения кабеля	Рекомендуемый метод нахождения места повреждения
0—100 *ом*	0		Импульсный, индукционный
			Импульсный, акустический
40—200 *ом*	0		Импульсный, петлевой, акустический
10—200 *ом*	0		Импульсный, акустический

Переходное сопротивление в месте повреждения	Пробивное напряжение в месте повреждения, *кв*	Характер повреждения кабеля	Рекомендуемый метод нахождения места повреждения
Сотни мегом	Выше испытательного напряжения		Импульсный, емкостный
Сотни мегом	Выше испытательного напряжения		Импульсный, емкостный
5000 *ом*	До испытательного напряжения		Импульсный, емкостный, акустический
Сотни мегом	От 8 *кв* до испытательного напряжения	Муфта	Колебательного разряда, акустический

Большинство этих методов применяется после прожигания поврежденного места кабельной линии для снижения величины переходного сопротивления.

3. Прожигание

При низких переходных сопротивлениях прожигание осуществляется по схеме повреждения фаза — земля током 20—50 *а*. Прожигательной установкой может служить генератор звуковой частоты, сварочный трансформатор или низковольтная обмотка сетевого трансформатора, включаемая через токоограничивающее сопротивление.

В случае больших переходных сопротивлений в месте пробоя прожигание может производиться по схеме акустического метода (см. рис. XV.8). Дефектную муфту, имеющую заплывающий пробой, находят прожиганием также по схеме акустического метода. При этом на поврежденной муфте можно прослушать искровые разряды.

Ниже дано описание передвижной (смонтированной на кузове автомашины) испытательно-прожигательной установки Мосэнерго (рис. XV.3).

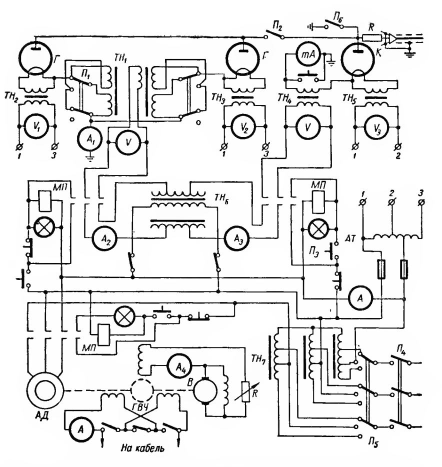


Рис. XV.3. Принципиальная схема кенотронно-газотронной установки Мосэнерго:

$Г$ — газотроны тнпа ВГ237; $К$ — кенотрон тнпа КР110; mA — миллиамперметр типа МЭ1 на 100 *ma*; A_1 — амперметр тнпа М9 на 5*a*; A_2, A_3 — амперметры нагрузкн на 100 *a*; A_4 — амперметр на 1*a*. V_1, V_2 — вольтметры типа ЭМ 220/6; V_3 — вольтметр тнпа МЭ 220/18; $П_1$ — переключатель двухполюсный на 5—10 *кв*; $П_2$ — рубильник однополюсный на 5*a*; $П_3$ — кнопка управления; $П_4$ — рубильник трехполюсный на 500 *в*; $П_5$ — переключатель трехполюсный на 120—220—380 *в*; $П_6$ — заземляющий разъединитель; $ТН_1$ — трансформатор газотрона напряженнем 5—10 *кв*; $ТН_2$, $ТН_3$, $ТН_5$ — трансформаторы накала; $ТН_4$ — испытательный траисформатор на 220/42500 *в*, 6 *ква*; $ТН_6$ — регулнровочный трансформатор на 0—250 *в*, 7 *ква*. $ТН_7$ — АТ на 120—220—380 *в*, 7 *ква*; АТ — регулировочный автотрансформатор на 0—250 *в*, 1 *ква*; АД — электродвигатель мощностью 3 *квт*; ГВЧ — генератор высокой частоты иа 3 *квт*, 110—220 *в*, 1000 *гц*; В — возбудитель.

Установка состоит из следующих основных элементов:

1) кенотронного выпрямителя для испытания и предварительного прожигания изоляции в месте повреждения кабельной линии;

2) газотронного выпрямителя для дожигания изоляции в месте повреждения до малых переходных сопротивлений;

3) генератора звуковой частоты для индукционного метода измерения и прожигания места повреждения кабеля в раскопке.

Прожигание места повреждения кабеля следует начинать по кенотронной схеме и вести его до тех пор, пока напряжение прожигания снизится до 15 *кв*. После этого, замкнув рубильник $П_2$, следует подключить газотронную часть схемы.

В процессе прожигания необходимо придерживаться следующего порядка. Присоединив установку к кабельной линии, в первую очередь рекомендуется включить накал газотронов $Г$, так как они должны прогреться перед работой в течение 5 *мин*.

Накал кенотронной лампы K регулируют по вольтметру V_3. После этого повышают напряжение, наблюдая по вольтметру за величиной напряжения, при которой наступает пробой. Пока величина тока прожигания не превосходит 80 *ма*, за кенотронной лампой особых наблюдений не требуется. Если же ток возрастает до 100—150 *ма*, анод лампы быстро накаляется, что может привести к его разрушению. Напряжение при прожигании необходимо поддерживать таким, чтобы ток не превышал 100 *ма*, т. е. чтобы анод кенотрона не раскалялся до красного свечения.

После снижения напряжения пробоя до 15 *кв* газотронная часть подключается следующим образом. В течение 5—6 *мин* прогревают катоды ламп, включают магнитный пускатель $МП$, повышают напряжение на трансформаторе TH_1 до максимального значения и замыкают рубильник $П_2$, соединяющий обе части устройства (кенотронную и газотронную) на параллельную работу.

Когда амперметр газотронной части зафиксирует нагрузку, кенотронную часть можно отключить. Для этого отключается автомат кенотронной части. Напряжение на газотронах поддерживается таким, чтобы ток по амперметру не превосходил допустимой для данной установки величины (1—1,5 *а*). Если во время работы внутри газотрона появляются искры, значит, накал недостаточен (катоды недокалены) и надо увеличить напряжение накала. Кончают прожигание тогда, когда ток, достигая максимального значения, остается неизменным.

Прожигание проверяют, закорачивая рубильник на землю. Если при этом показания амперметра газотрона почти не изменяются, значит, сопротивление в месте повреждения доведено до малой величины. Прожигание заканчивают тогда, когда переходное сопротивление в месте повреждения снижено до требуемой величины.

Величина сопротивления проверяется индуктором. В зависимости от места повреждения на кабеле процесс прожигания протекает различно.

Повреждение в целом месте. В этом случае процесс прожигания идет спокойно и через 5—10 *мин* сопротивление быстро снижается до нескольких десятков ом (исключение составляют кабели с очень жирной пропиткой, когда прожигание длится дольше).

Повреждение в воде или в мокром грунте. В таких случаях процесс прожигания идет также спокойно, но сопротивление изоляции не снижается меньше 2000 *ом* и дальнейшее прожигание никаких изменений не дает.

Повреждение в муфтах. Прожигание в таких случаях длится больше обычного. Сопротивление колеблется в широких пределах. Это связано с процессами в прожигаемой муфте. Под действием дуги в месте повреждения заливочная масса в муфте расплавляется и заливает место пробоя изоляции, увеличивая ее сопротивление. Такой неустановившийся характер сопротивления изоляции иногда может продолжаться 1—2 *ч*. Если сопротивление в течение этого времени не снижается, прожигание необходимо прекратить и измерить зону повреждения кабельной линии методом колебательного разряда, а потом уточнить его на трассе акустическим методом.

В остальных случаях прожигание заканчивается тогда, когда переходное сопротивление в месте повреждения снизится до величины, требуемой применяемым методом измерений.

4. Методы определения повреждений кабеля

Индукционный метод

При использовании индукционного метода по кабелю пропускают ток от генератора звуковой частоты (800—3000 *гц*). Вокруг кабеля образуется магнитное поле, величина которого пропорциональна величине тока в кабеле. На поверхности земли над кабелем при помощи приемной рамки, усилителя и телефона можно прослушать звучание, которое распространяется по пути прохождения тока по кабелю.

Индукционным методом можно определить место повреждения кабеля, трассу кабеля, место расположения муфт на трассе, глубину заложения кабеля.

Место повреждения кабеля при замыкании между жилами находят следующим образом. От генератора высокой частоты (рис. XV.4) подается ток примерно 5—20 *а* на две поврежденные жилы кабеля. По трассе проходят с рамкой *Р*, усилителем *У* и телефоном *Т*, улавливая характерное звучание в телефоне от наведенной в рамке

усиленной э. д. с. Звучание слышно на всем участке кабеля, где протекает ток от генератора, т. е. до места повреждения.

Над местом повреждения, где ток переходит с одной жилы на другую, усиливается магнитное поле, и звук в телефоне заметно возрастает, затухая на расстоянии 0,5 *м* за местом повреждения. Ток, протекающий по жилам кабеля, создает два концентрических магнитных поля, действующих в противоположных направлениях (рис. XV. 5).

При расположении жил кабеля в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли существенно больше, чем при расположении жил в вертикальной плоскости. Кабели имеют скрутку жил с шагом повива от 0,5 до 2,5 *м*. В приемной рамке усилителя, расположенной вертикально над кабелем, при перемещении ее по трассе будет индуктироваться э. д. с., периодически изменяющаяся от минимума (вертикальное расположение жил) до максимума (горизонтальное расположение). Следовательно, при движении рамки по трассе кабеля в телефоне будут слышны периодические усиления и затухания звука, повторяющиеся через определенные интервалы в зависимости от шага скрутки жил кабеля.

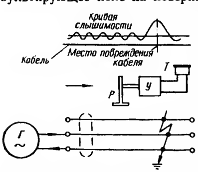


Рис. XV.4. Схема определения места повреждения кабеля индукционным методом при междуфазном замыкании жил.

В тех местах, где имеется муфта, длина интервалов слышимости заметно нарушается и прослушивается резкое усиление звука за счет разводки жил в муфте. Это и используется для определения места нахождения муфты на трассе.

Однако не всегда по всей длине кабеля звук прослушивается одинаково хорошо. Плохая слышимость может быть в результате неправильной скрутки жил кабеля, из-за большой глубины его залегания или из-за экранировки кабеля металлическими трубами.

Если звук усиливается, значит рамка находится над местом повреждения. В сомнительных случаях или при очень плохой слышимости рекомендуется делать измерения с двух сторон. В обоих случаях звучание должно прекратиться в одном и том же месте трассы.

Определение трассы кабельной линии. При определении трассы кабеля один вывод генератора звуковой частоты присоединяют к неповрежденной жиле кабеля, другой — к заземленной оболочке измеряемого кабеля. Противоположный конец используемой жилы также заземляют (рис. XV.6, *а*).

Величина тока генератора устанавливается от 50 *ма* до нескольких ампер. При наличии сильных помех или большой глубины залегания кабеля ток генератора приходится увеличивать до 15—20 *а*. Силовые линии магнитного поля системы токов жила — земля имеют форму концентрических окружностей.

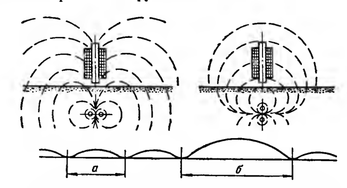


Рис. XV.5. Пересечение контура приемной рамки магнитным полем и кривая слышимости над кабелем:
а — шаг перевива кабеля; *б* — участок расположения муфты.

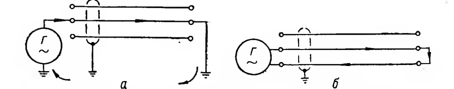


Рис. XV.6. Схема присоединения генератора звуковой частоты для определения трассы кабельной линии.

Если ось приемной рамки кабелеискателя расположена горизонтально в плоскости концентрического поля (рис. XV.7, *а*), над кабелем будет наводиться максимальная э. д. с., так как витки рамки пересекаются максимальным магнитным потоком. При удалении рамки от кабеля величина э. д. с. убывает. Это свойство используется для ориентировочного нахождения трассы кабельной линии.

Когда ось рамки расположена вертикально, то над кабелем э. д. с. равна нулю, так как витки рамки не пересекаются магнитным потоком (рис. XV.7, *б*). При перемещении рамки в стороны от кабеля э. д. с. будет сначала резко возрастать, а затем медленно убывать. Это свойство используется для точного определения трассы кабеля.

Если ось рамки искателя кабеля расположена параллельно оси кабеля (рис. XV.7, *в*), э. д. с. равна нулю. При нарушении параллельности величина э. д. с. возрастает, что используется для определения направления трассы кабеля.

Иногда вследствие большого сопротивления грунта ток заземления растекается от вывода генератора по оболочкам соседних кабелей, находящихся под рабочим напряжением. Минимум звучания полу-

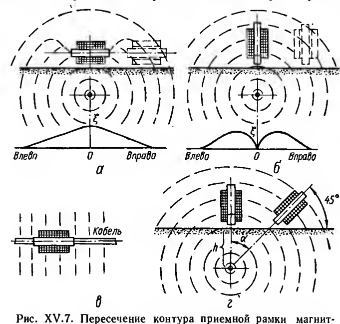


Рис. XV.7. Пересечение контура приемной рамки магнитным полем:

а и *в* — горизонтальное расположение рамки; *б* — вертикальное расположение рамки; *г* — рамка повернута под углом 45°.

чается над тем кабелем, по которому течет этот ток. Кабель, который подключен к генератору, не прослушивается.

В таких случаях необходимо пользоваться схемой двухпроводного питания, т. е. выводы генератора следует включать на две жилы, закороченные с противоположной стороны перемычкой (см. рис. XV.6, *б*). Тогда магнитные поля, создаваемые прямым и обратным током в кабеле, почти полностью компенсируют друг друга, вследствие чего результирующее разностное поле над кабелем будет почти в 15—20 раз слабее, чем при пропускании тока через одну жилу и землю. Для компенсации в кабель необходимо подавать от генератора звуковой частоты ток значительной величины (примерно 10—12 *а*).

Определение глубины залегания кабеля. Для определения глубины залегания кабеля пользуются той же схемой питания, что и для определения трассы кабеля (см. рис. XV.6, *а*). Рамку усилителя ставят в горизонтальное положение и определяют трассу кабеля; место трассы отмечают чертой. Затем рамку поворачивают таким образом, чтобы ее ось была под углом 45° к вертикальной плоскости, проходящей через кабель. После этого рамку усилителя отводят в сторону от черты, проведенной над трассой кабеля. В зоне отсутствия э. д. с. (отсутствие звучания в наушниках усилителя) проводят вторую черту. Расстояние между первой чертой и второй равно глубине залегания кабеля (рис. XV.7, *г*).

При индукционном методе определения трассы кабеля используют следующие аппараты:

1) приемник-усилитель кабелеискателя типа КИА-58-УЭЧМ;

2) ламповый генератор на 950 *гц* с выходной мощностью 100 *вт* кабелеискателя типа КИА-58-УЭЧМ;

3) машинный генератор мощностью 3 *ква* на 1000 *гц* при токе 15—20 *а* для кабелей длиной до 10 *км*.

Нанесение трассы на план и маркировка проложенного кабеля. Трассу проложенных в земле кабелей наносят на план площадки с указанием следующих размеров: глубины заложения от чистой отметки поверхности площадки и расстояний от постоянных сооружений до оси каждого кабеля (привязка кабеля).

Вдоль трассы через каждые 100 *м* на прямых участках, а также на всех поворотах, пересечениях, при вводах в здания, в местах установки соединительных муфт предусматривают опознавательные знаки. На кабели, проложенные в тунелях и по стенам помещений, составляют чертежи, в которых указывают назначение и номер каждого расположенного на полке или на опорной конструкции кабеля.

Через каждые 20 *м* на прямых участках кабеля прикрепляют бирки, стойкие по отношению к окружающей среде (свинцовые или пластмассовые). Бирки прикрепляют и к местам прохода через междуэтажные перекрытия, стены (с обеих сторон), в местах входа в тунели или канал и выхода из них. На бирках штампуют номер кабеля, его назначение, напряжение, сечение и присвоенную данному кабелю маркировку.

Акустический метод

Определяя повреждение изоляции акустическим методом, к кабелю подключают кенотронную высоковольтную установку с разрядным промежутком на 10—18 *кв* и высоковольтный конденсатор емкостью 2—4 *мкф* (рис. XV. 8, *а*). Такую схему применяют для низких переходных сопротивлений в месте повреждения.

При заплывающем пробое в кабельной муфте, когда напряжеиие пробоя не снижается, геиератором импульсов служит кенотроиная устаиовка и емкость самого кабеля (рис. XV. 8, *в*).

Как при заплывающем пробое в муфте, так и при разряде кондеисатора иа кабель, энергия разряда в месте повреждения

$$W = \frac{CU^2}{2} \, [\partial ж], \qquad \text{(XV. 1)}$$

где C — емкость, *мкф*; U — иапряжеиие пробоя, *кв*.

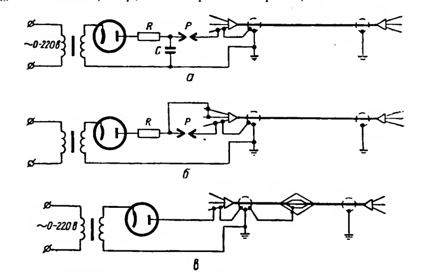


Рис. XV.8. Прииципиальные схемы для определеиия места повреждеиия изоляции кабеля акустическим методом при малом переходиом сопротивлении в месте повреждеиия:
а — схема с конденсатором; *б* — схема с использованием емкости неповрежденных жил; *в* — схема при заплывающем пробое в муфте.

Емкость высоковольтиого кабеля на каждый километр его длины измеряется десятыми долями микрофарады, поэтому при высоком иапряжеиии эиергия разряда имеет довольно большие зиачения. Поскольку она расходуется в течение короткого времеии (примерно несколько десятков микросекунд), то в месте пробоя при разряде происходит мощный удар. Звук этого удара, как показывает опыт, можно прослушать на поверхности земли акустическим аппаратом АИП-3 или стетоскопом.

При заплывающем пробое в дефектной муфте зону повреждения ориеитировочно определяют методом колебательиого разряда. На

основании полученных данных по плану кабельной линии непосредственно на трассе отмечают положение соединительных муфт, в которых возможен пробой, с учетом максимальной погрешности измерения. После этого на кабель снова подают напряжение от кенотронной установки.

Когда начинаются пробои, приступают к выслушиванию разрядов. Первые разряды должны быть прослушаны кабелеискателем с рамкой. После того, как будет установлено наличие разрядов и определен их характер, следует приступить к выслушиванию муфт прибором АИП или стетоскопом. Стетоскопом и прибором АИП разряды отчетливо прослушиваются на поверхности земли в радиусе 2—3 *м* от места пробоя. Наибольшую силу звук от разряда имеет непосредственно над местом пробоя.

Следует отметить, что звуковая волна по свинцовой оболочке кабеля распространяется с меньшим затуханием, чем по земле, поэтому разряд иногда можно прослушать в несколько ослабленном виде на свинцовой оболочке соседних муфт. На поверхности земли звук от разряда отчетливо прослушивается только вблизи места пробоя, что дает возможность уверенно указать место пробоя.

Когда при обследовании муфты стетоскопом или аппаратом АИП разряды не прослушиваются, наличие разрядов в кабеле проверяют кабелеискателем. Это дает уверенность в правильности измерения и освобождает от излишнего хождения с приборами по трассе. При помощи стетоскопа и кабелеискателя в течение нескольких минут можно прослушать две-три муфты и установить дефектную муфту, над которой слышны разряды.

При определении места повреждения, имеющего малое переходное сопротивление, зону повреждения определяют импульсным или петлевым методом. Порядок прослушивания тот же, что и при определении дефектной муфты, но прибор АИП перемещают вдоль всего участка трассы, соответствующего зоне повреждения, а не только возле муфт.

Петлевой метод

Когда жила с поврежденной изоляцией не имеет обрыва и, кроме того, в кабеле имеется одна неповрежденная жила, расстояние до места повреждения можно определить петлевым методом, основанным на принципе моста. Четыре сопротивления плеч моста: A, B, C и D образуют замкнутый четырехугольник, в одну из диагоналей которого включен гальванометр, в другую — батарея (рис. XV.9).

Если при включенной батарее стрелка гальванометра не отклоняется (нулевое положение), сопротивления плеч моста A, B, C и D находятся в следующем соотношении: $\frac{A}{C} = \frac{B}{D}$.

Сопротивление жил кабеля мало́ по сравнению с сопротивлениями *A* и *C* моста, в связи с этим соединительные провода от кабеля к мосту также оказывают влияние на результат измерений.

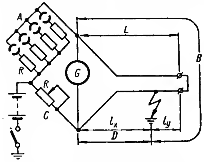


Рис. XV.9. Схема петлевого измерения.

Поэтому гальванометр необходимо присоединять на концы измеряемых жил кабеля. Концы от моста до жил кабеля соединяют гибким медным проводом сечением 4 *мм*² с надежными латунными зажимами.

Переходное сопротивление на землю в месте повреждения кабеля должно быть не больше 10 000 *ом*, в противном случае чувствительность моста заметно снизится. Если переходное сопротивление на землю больше указанной величины, его необходимо снизить путем прожигания.

Напряжение батареи для питания моста зависит от переходного сопротивления в месте повреждения кабеля и выбирается согласно приведенным ниже данным:

Переходное сопротивление в месте повреждения, *ом*	10 000	1000	100
Напряжение батареи, *в* . .	100—120	30—24	4—6

При проведении измерений придерживаются следующего порядка: а) определяют мегомметром переходное сопротивление в месте повреждения; б) на противоположном конце линии устанавливают перемычку (сечением не менее сечения жил кабеля) на здоровую и поврежденную жилы; в) на эти же жилы на измерительном конце линии присоединяют провода от моста; г) устанавливают приборы — мост, слева от него гальванометр, справа батарею (расстояние от приборов до токоведущих частей высокого напряжения должно быть не менее 0,6 *м*); д) к соответствующим зажимам моста присоединяют провода от жил кабеля, заземления и батареи; в последнюю очередь присоединяют провода от гальванометра, предварительно установленного по уровню, освобождают арретир и проверяют, разомкнуты ли на мостике ключи к цепи гальванометра и батареи (равновесие моста устанавливают постепенным подбором измерительных плеч).

На последних декадах (0,1 *ом*) при замыкании ключа батареи гальванометр иногда дает отклонение (отклонится в одну сторону и тут же в другую). В этом случае надо замкнуть прежде цепь

батареи, а потом цепь гальванометра. Для уменьшения влияний магнитных полей шунт гальванометра не следует выводить до конца. При отсутствии такого влияния цепь гальванометра удобнее замкнуть и пользоваться только ключом батареи. Цепь батареи во избежание быстрого разряда батареи следует замыкать кратковременно.

Величину сопротивления плечей A и C записывают при нулевом показании гальванометра. Обычно расстояние до места повреждения обозначают l_x, а за местом повреждения — l_y, тогда

$$l_x + l_y = L; \quad D = l_x; \quad B = L + l_y; \tag{XV.2}$$

$$l_x = \frac{2LC}{A + C}, \tag{XV.3}$$

где L — длина кабеля.

Записав показания сопротивлений плеч моста A и C, необходимо концы проводов, идущих от жил кабеля на мост, поменять местами и повторить измерение. Тогда

$$L + l_y = \frac{2LC_1}{A_1 + C_1}. \tag{XV.4}$$

По результатам двух измерений, произведенных с одного конца кабеля, получают величину l_x, меньшую длины кабеля, и величину $L + l_y$, большую длины кабеля. Если сумма двух измерений меньше двойной длины кабеля, значит плечи моста подобраны недостаточно точно, измерение следует повторить, проверив контакты перемычки на противоположном конце кабеля.

В некоторых случаях при измерении по схеме петлевого метода при любых значениях A и C стрелка гальванометра может отклониться только в одну сторону. При перемене местами концов на мостике стрелка может снова отклониться в одну сторону, но в обратном направлении. Это значит, что повреждение находится в самом начале кабеля со стороны места измерения, чаще всего в концевой воронке (отклонение в одну сторону может быть и при обрыве соединительных проводов).

Расчет расстояния до места повреждения кабельной линии, состоящей из участков различных сечений и материалов токоведущих жил, рассмотрим на следующем примере. Параметры измеряемой кабельной линии указаны на рис. XV.10.

Сопротивление жилы кабеля определяют по формуле

$$R = \frac{\rho l_1}{q_1},$$

где l_1 — длина жилы, *м*;
q_1 — сечение жилы, *мм²*.

В формуле для расчета расстояния до места повреждения

$$D = \frac{2LC}{A + C} \tag{XV.6}$$

длина кабеля L, состоящая из частей B и D, принята при условии, что кабель берется из однородного материала и одинакового сечения. При двух различных сечениях длину пересчитывают на одно сечение, принимая величину омического сопротивления постоянной.

Рис. XV.10. Схема измерения кабельной линии.

Пример. Приведем всю длину кабеля к алюминию сечением 50 *мм*². Для участка *аб* (рис. XV. 10) имеем: $l_1 = 100$ *м*; $q_1 = 35$ *мм*²; $\rho_1 = 0{,}0175$ *ом · мм²/м*.

Основная формула для расчета длины:

$$\frac{\rho_1 l_1}{q_1} = \frac{\rho_{пр} l_{пр}}{q_{пр}}. \tag{XV.7}$$

В нашем случае приведенные значения $q_{пр} = 50$ *мм*² и $\rho_{пр} = 0{,}0293$ *ом·мм²/м*. Найдем приведенную длину участка *аб*:

$$l_{пр} = \frac{100 \cdot 50 \cdot 0{,}0175}{35 \cdot 0{,}0293} = 89{,}1 \text{ м}.$$

Следовательно, общая приведенная длина

$$l_{общ} = 89{,}1 + 250 = 339{,}1 \text{ м}.$$

Предположим, измерение производилось из точки *в* и $l_x = 140$ *м*, тогда не требуется дополнительный пересчет. Повреждение следует искать на расстоянии 140 *м* от точки *в*.

Если $l_x = 300$ *м*, т. е. оно дальше точки *б*, пересчет производят следующим образом. Длина между точками *в* и *б* составляет 250 *м*. Оставшиеся 50 *м* приведенной длины (300 — 250 = 50 *м*) необходимо пересчитать на действительную длину:

$$l_{действ} = \frac{50 \cdot 0{,}0293 \cdot 35}{50 \cdot 0{,}0175} = 56 \text{ м}.$$

Следовательно, повреждение кабеля надо искать на растоянии 250 + 56 = 306 *м* от точки *в*.

Емкостный метод

При растяжках (обрывах) жил кабеля в соединительных муфтах расстояние до места повреждения определяют емкостным методом. Емкость кабеля измеряют как на переменном, так и на постоянном токе.

Широкое применение нашли мосты переменного тока с питанием от лампового генератора, работающего на частоте 1000 *гц* и напряжением 10—20 *в*, имеющие телефон в качестве нулевого индикатора (рис. XV.11).

Как известно из теории мостов переменного тока, условие равновесия моста определяется следующим уравнением:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4, \tag{XV.8}$$

где $Z_1 - Z_4$ — комплексные сопротивления соответствующих плеч моста.

В большинстве случаев сопротивления, входящие в два (обычно смежных) плеча, выбирают активные. Сопротивления Z_2 и Z_3 состоят из активных сопротивлений и емкостей.

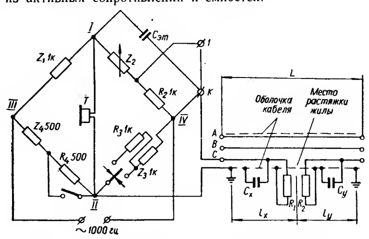


Рис. XV.11. Схема емкостного моста на переменном токе.

При протекании переменного тока в цепи, составленной из емкости и омического сопротивления, наблюдается сдвиг фаз между током и напряжением. Угол сдвига фаз зависит от соотношения величин емкости и сопротивления.

Между точками I и II включен телефон, а между точками III и IV — источник переменного тока (ламповый генератор, работающий на частоте 1000 *гц*).

Если фазовый угол и абсолютное значение реактивного сопротивления, включенного между точками I — IV, будут такими же, как и между точками II — IV, то в точках I — II потенциалы окажутся одинаковыми и в телефоне не будет слышно звучания.

В противном случае равновесие нарушится и уравнительный ток вызовет звучание.

Регулируя сопротивление R_3 и эталонную емкость $C_{эт}$, можно добиться отсутствия звучания в телефоне. Тогда величина измеряемой емкости кабеля может быть найдена из выражения

$$C_{каб} = C_{эт} Z_1, \qquad (XV.9)$$

где $C_{эт}$ — величина емкости между точками I и IV при равновесии моста.

Величину сопротивлений Z_1 и Z_2 изменяют в тех случаях, когда надо измерить емкость, бóльшую, чем максимальная эталонная емкость моста. При этом точность измерения снижается.

Мостами переменного тока можно измерять емкость при заземлениях с переходным сопротивлением не ниже 5 *Мом*; при меньших сопротивлениях точность моста снижается. При измерении емкости все жилы кабеля, кроме измеряемой, заземляют для уменьшения их влияния на измеряемую емкость.

Метод постоянного тока для измерения емкости может быть применен лишь при чистом обрыве жил кабеля, когда переходное сопротивление в месте растяжки составляет 20 *Мом* и больше. В этом

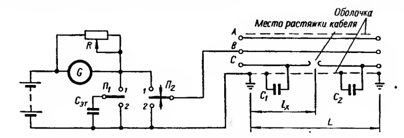


Рис. XV.12. Схема измерения емкости на постоянном токе.

случае собирают схему батарей постоянного тока на 100—120 *в* с гальванометром Г, шунтом R, эталонным конденсатором $C_{эт}$ и двумя ключами — $П_1$ и $П_2$ (рис. XV.12).

Установив шунтом R минимальную чувствительность гальванометра, ключ $П_2$ ставят в положение *1* (в положение *2* ключ возвращается пружиной). Зарядный ток от батареи в жилу кабеля проходит через гальванометр, отбрасывая стрелку на угол α_1. Шунтом R чувствительность гальванометра увеличивают до максимально допустимого отклонения стрелки для данной емкости. Включение надо производить три-четыре раза. Затем при том же положении

шунта R ключ $П_1$ включают в положение *1* (в положение *2* ключ возвращается пружиной). Зарядный ток пойдет от батареи в эталонный конденсатор через гальванометр и отбросит стрелку на угол α_2.

Отклонение гальванометра пропорционально заряжаемой емкости, поэтому искомая емкость кабеля

$$C_1 = \frac{C_{эт}\alpha_1}{\alpha_2} [мф]. \qquad (XV.10)$$

При измерении емкости могут встретиться следующие три случая.

1. При обрыве одной жилы сначала измеряют емкость C_1 с одного конца, а затем C_2 с другого конца; длину кабеля делят пропорционально полученным емкостям. Расстояние до места повреждения l_x определяют по формуле

$$l_x = \frac{LC_1}{C_1 + C_2} [м], \qquad (XV.11)$$

где L — длина кабеля, *м*.

2. Если оборванная жила имеет с одного конца глухое заземление, измеряют емкость одного участка C_1 и целой жилы C. Место повреждения определяют по формуле

$$l_x = \frac{LC_1}{C}. \qquad (XV.12)$$

3. Когда емкость оборванной жилы C_1 можно измерить только с одного конца, а остальные жилы имеют глухое заземление, то расстояние до места повреждения определяют из выражения

$$l_x = \frac{C_1 \cdot 1000}{C_0} [м]. \qquad (XV.13)$$

Величину удельной емкости жилы C_0 для данного напряжения принимают согласно данным табл. XV.3, где приведены значения емкости жилы при заземленных двух других. Для кабелей, бывших в эксплуатации, действительная удельная емкость, как правило, отличается от величин, приведенных в табл. XV.3. Поэтому 3-й способ дает удовлетворительные результаты только на коротких участках (100—150 *м*). При бо́льшей длине кабеля ошибка увеличивается и может доходить до десятков метров. Наилучшие результаты дает 1-й способ.

Емкостный метод по точности и удобству измерения значительно уступает импульсному. Его следует применять лишь при отсутствии импульсных приборов.

Таблица XV.3

Удельная емкость трехжильного силового кабеля, *мкф/км*

Кабель с медной жилой					Кабель с алюминиевой жилой			
Сечение, $мм^2$	Напряжение, *в*				Сечение, $мм^2$	Напряжение, *в*		
	1000	3000	6000	10 000		1000	3000	6000
3×4	0,2	0,125	0,100	—	3×75	0,600	0,350	0,300
3×6	0,225	0,150	0,120	—	3×105	0,625	0,400	0,330
3×10	0,310	0,200	0,170	—	3×142	0,640	0,425	0,360
3×16	0,330	0,215	0,190	0,150	3×180	0,660	0,475	0,400
3×25	0,360	0,240	0,200	0,180	3×225	0,780	0,540	0,140
3×35	0,450	0,300	0,240	0,200	3×277	0,800	0,600	0.475
3×50	0,635	0,350	0,280	0,210				
3×70	0,650	0,370	0,330	0,220				
3×95	0,670	0,425	0,370	0,230				
3×120	0,685	0,450	0,400	0,270				
3×150	0,700	0,500	0,440	0,290				
3×185	0,740	0,600	0,475	0,320				
3×240	0,850	0,650	0,520	0,360				

Импульсный метод

Принцип работы приборов типа ИКЛ для определения расстояния до места повреждения линии импульсным методом основан на посылке в поврежденную линию зондирующего электрического импульса и измерении интервала времени от момента подачи этого импульса до момента прихода отраженного импульса.

Методика измерения приборами ИКЛ-4 и ИКЛ-5 одинакова. Прибор ИКЛ-4 предназначен для измерения на кабельных линиях, а прибор ИКЛ-5 — на кабельных и воздушных линиях электропередачи и связи, что делает его универсальным. Заводские инструкции по методике измерения приборами ИКЛ обычно прилагаются к приборам.

Метод колебательного разряда

Расстояние до места заплывающего повреждения в кабельной линии напряжением 3—35 *кв* определяется электронным микросекундомером типа ЭМКС-58.

ЛАВА XVI

ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

1. Объем и нормы приемо-сдаточных испытаний

Заземляющие устройства должны быть испытаны в следующем объеме (ПУЭ, I-8-36).

Проверяют состояние элементов заземляющего устройства при выборочном их осмотре в земле со вскрытием грунта, а также цепь между заземлителями и заземляемыми элементами. В заземляющих проводниках, соединяющих аппараты с контуром заземления, не должно быть обрывов и неудовлетворительных контактов.

Определяют состояние пробивных предохранителей, напряжение которых должно соответствовать номинальному напряжению установки. Проверяют полное сопротивление петли фаза — нуль в установках напряжением до 1000 *в* с глухим заземлением нейтрали. Величина сопротивления должна быть такова, чтобы при замыкании между фазами и заземляющими проводниками возникал ток к.з. согласно ПУЭ, I-7-58.

Проверке должны быть подвергнуты наиболее удаленные, а также наиболее мощные электроприемники, но не меньше 10% их общего количества.

Когда измеряют сопротивление заземляющих устройств, нужно иметь в виду, что величина сопротивления должна соответствовать нормам, приведенным в ПУЭ. Сечения и проводимости заземляющих проводников должны соответствовать проектным данным.

2. Наружный осмотр заземляющих устройств

Заземлители

При наружном осмотре заземляющего устройства прежде всего проверяют заземлители. Для этого грунт раскапывают в нескольких местах, где проложено заземляющее устройство.

Размеры и количество заземлителей должны соответствовать проектным данным. Минимальные размеры заземлителей приведены в табл. XVI.1. Количество заземлителей проверяют по акту, предъявленному организацией, осуществляющей монтаж заземления.

Таблица XVI.1

Размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников

Наименование	Место установки		
	В здании	Вне здания	В земле
Диаметр стержня, *мм*	5	6	6
Сечение прямоугольного стержня, *мм*²	24	48	48
Толщина прямоугольного стержня, *мм*	3	4	4
Толщина полок уголка, *мм*	2	2,5	4
Толщина стен стальных газопроводных труб, *мм*	1,5	2,5	3,5

Глубина заложения заземлителей должна соответствовать данным проекта. Заземлители, предназначенные для закладки в грунтах, где возможна повышенная коррозия, должны быть оцинкованы.

Естественные заземлители следует связывать с заземляющими магистралями электроустановки не менее, чем двумя проводниками, присоединенными к заземлителю в разных местах. Заземлители и заземляющие проводники, предназначенные для прокладки в земле, не окрашивают.

Заземляющие проводники

Сечение заземляющих проводников, проложенных в земле и открыто, не должно быть меньше значений, указанных в табл. XVI.2. По условиям термической устойчивости сечение заземляющих проводников должно соответствовать требованиям проекта.

Таблица XVI.2

Сечение заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 *в*, *мм*²

Наименование	Сечение заземляющих проводников, *мм*²	
	медных	алюминиевых
Голые проводники при открытой прокладке	4	6
Изолированные провода	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	1,5

Заземляющие проводники, находящиеся в помещениях, должны быть доступны для осмотра. В сырых помещениях и в помещениях с едкими парами заземляющие проводники нужно прокладывать от стен на расстоянии не менее чем 10 *мм*. В местах перекрещивания

с кабелями, трубопроводамн н в других местах, где возможиы механические повреждения, заземляющие проводники должны быть защищеиы.

Прокладка заземляющих проводников через стены должна выполняться в открытых проемах, в трубах нли иных жесткнх обрамлеииях. Открыто проложенные проводинки следует окрашивать в фиолетовый цвет. Если заземляющне проводиики окрашеиы в другой цвет, в местах присоедииеиий и ответвлеиий оии должиы нметь ие меиее чем две полосы фиолетового цвета, расположеиные друг от друга на расстоянии 150 *мм*.

Заземляющие проводникн соединяют сваркой. Длииа сварочиых швов (иахлестки) должна быть равиа двойиой ширине прн прямоугольном сечеинн или шести диаметрам при круглом сеченни.

В сырых помещениях с едкими парами или газамн все соеднеиия должиы быть выполиеиы сваркой. Когда же сварку выполнить невозможно, в местах соедииеиий и присоедииений заземляющих проводников следует выполиять защитиые покрытия, предохраняющие их от окислеиия (ржавчииы).

Прнсоедииеие заземляющих проводников к заземляемым конструкциям должно выполияться сваркой, а присоедииеие к корпусам аппаратов, машин и др. — сваркой илн иадежным болтовым соединеиием. Механическая прочиость свариых соединеий проверяется ударами молотка.

Каждый заземлеииый элемеит электроустаиовки должеи быть присоединеи к заземлителю или к заземляющей магистрали при помощи отдельиого ответвления. Последовательиое включеиие в заземляющий проводиик нескольких заземляемых частей запрещается.

3. Измерение сопротивления растеканию заземляющего устройства

Сопротивлеиие растеканию заземлеиий измеряют, как правнло, зимой или летом, т. е. когда грунт обладает наибольшим удельным сопротивлением.

Не допускается пронзводить измерения в неиастиую сырую погоду или вскоре после прохождеиия дождей. Перед нзмерением после длительиого пернода дождей необходимо выдержать срок для просыхаиия почвы.

Измерение сопротивления заземляющих устройств измерителем заземления типа МС-08

Измернтель заземлеиия тнпа МС-08 предиазиачен для измерения сопротивлення заземляющих устройств; он может быть использован также для определения удельного сопротивления грунта (рис. XVI.1).

Значение измеряемого сопротивления определяется непосредственным отсчетом по шкале прибора в омах. Прибор, рассчитанный на широкие пределы измерений — от долей ома до 1000 *ом*, работает

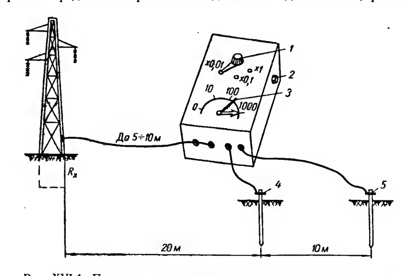


Рис. XVI.1. Принципиальная схема включения измерителя заземления:

1 — переключатель; *2* — реостат потенциальной цепи; *3* — красная черта на шкале; *4* — зонд; *5* — вспомогательный заземлитель; R_x — испытуемое сопротивление заземления.

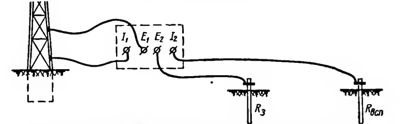


Рис. XVI.2. Схема включения измерителя заземления, исключающая погрешность, вносимую соединительными проводниками.

на переменном токе и защищен от влияния блуждающих токов (переменного и постоянного).

В комплект прибора входят четыре зажима: два токовых — I_1 и I_2 и два потенциальных — E_1 и E_2 (рис. XVI.2). Для грубых измерений и измерения больших величин сопротивления зажимы I_1 и E_1, свя-

занные перемычкой, присоединяют к измеряемому объекту, I_2 — к вспомогательному заземлителю, E_2 — к потенциальному зонду.

Наличие четырех зажимов позволяет при точных измерениях исключить ошибку, вносимую сопротивлениями соединительных проводов и контактов. При этом зажимы I_1 и E_1 соединяют каждый в отдельности с измеряемым объектом, I_2 присоединяют к вспомогательному заземлителю, E_2 — к потенционально му зонду.

Для измерения сопротивления растеканию исследуемого заземлителя необходимы вспомогательный заземлитель и потенциональный заземлитель (зонд), расположенные от испытуемого заземлителя на расстояниях, указанных на рис. XVI.3 и XVI.4. Как вспомогательный заземлитель, так и зонд, в большинстве случаев могут быть выполнены в виде стального стержня диаметром не меньше 0,5 *см*, который забивают в грунт на глубину не меньше 0,5 *м*.

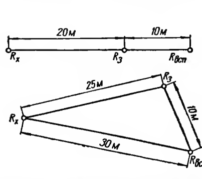


Рис. XVI.3. Минимальные расстояния между испытуемым и вспомогательными заземлителями при одиночном заземлителе или сосредоточеном устройстве заземления.

Рис. XVI.4. Минимальные расстояния между испытуемым и вспомогательными сложными (контурными) заземлителями.

При испытании заземляющих устройств, имеющих обычно сопротивление растеканию меньше 10 *ом*, сопротивление вспомогательного заземлителя не должно быть больше 250 *ом*, так как в противном случае чувствительность измерения заземления будет недостаточна. При измерении на пределах 0—100 *ом* и 0—1000 *ом* сопротивление вспомогательного заземлителя из тех же соображений не должно превышать соответственно 500 и 1000 *ом*. Сопротивление зонда во всех случаях не должно быть больше 1000 *ом*, так как при большем сопротивлении зонда погрешность измерения увеличивается сверх гарантированной.

Практически для большинства типов грунтов, за исключением грунтов с высоким удельным сопротивлением (например, песчаного или насыпного), сопротивление вспомогательных заземлителей не превышает приведенных выше значений. Когда сопротивление вспомогательных электродов высокое (для грунтов с повышенным удельным сопротивлением), его можно измерить приблизительно, и при необходимости снизить, увлажняя почву вокруг заземлителей или забивая дополнительно соединенные параллельно стержни на расстоянии друг от друга не менее 2—3 *м*. Стержни следует забивать в грунт прямыми ударами, стараясь не раскачивать, чтобы не увеличить переходное сопротивление заземлителя.

Измеритель заземления располагают горизонтально на твердом основании в непосредственной близости к испытуемому заземлителю. При этом зажимы I_1 и E_1 присоединяют замкнутой перемычкой. К зажиму I_2 присоединяют вспомогательный заземлитель, а к зажиму E_2 — зонд (см. рис. XVI.1). Все соединения выполняют изолированным многожильным медным проводом сечением от 2,5 до 10 *мм*², проложенным по земле.

Расстояние между испытуемым заземлителем, вспомогательным заземлителем и зондом выбирают в зависимости от устройства испытуемого заземлителя. Для одиночного заземлителя или сосредоточенного устройства заземления расстояния должны быть не менее указанных на рис. XVI.3.

Для сложных заземлителей, выполненных в виде контура, расстояния между контуром, вспомогательным заземлителем и зондом должны быть не менее указанных на рис. XVI.4 (*а* — наибольшая диагональ контура измеряемого заземляющего устройства, *м*).

Перед измерением компенсируют сопротивление зонда. Для этого переключатель *1*, расположенный на крышке прибора (см. рис. XVI.1), ставят в положение «регулировка» и, вращая рукоятку генератора со скоростью около 135 *об/мин*, путем поворота головки реостата *2* устанавливают стрелку прибора на красную отметку шкалы *3*. Ручку генератора нельзя вращать при положении переключателя «регулировка» и при отсоединенных испытуемом заземлителе и зонде.

Если при повороте головки реостата установить стрелку на красную отметку шкалы не удается, необходимо принять меры к уменьшению сопротивления зонда. После компенсации сопротивления зонда, т. е. после установления стрелки на красную черту, переключатель переставляют в положение «×1», т. е. на предел 1000 *ом*, и производят измерение при вращении ручки генератора со скоростью 135 *об/мин*. При незначительном отклонении стрелки прибора последовательно переходят на шкалу 100 *ом* («×0,1») или на шкалу 10 *ом* («×0,01»).

Отсчет производят по шкале в омах с учетом выбранного коэффициента измерения (1 или 0,1, или 0,01). Если при измерении стрелка устанавливается вяло и неуверенно, необходимо проверить сопротивление вспомогательного заземлителя. Для этого следует поменять местами провода у зажимов I_1 и I_2 и повторить измерение (прибор покажет сопротивление вспомогательного заземлителя). Если сопротивление превышает значения, приведенные выше, необходимо принять меры к его уменьшению.

Когда при измерении проявляется влияние блуждающих переменных токов (в виде колебания стрелки), необходимо изменить число оборотов рукоятки генератора, добиваясь спокойного и уверенного отклонения стрелки. Число оборотов рукоятки в минуту не должно выходить за пределы 90—150. Измерение производят два-три раза, и как конечное принимают среднее значение.

При определении сопротивления растеканию заземляющего устройства измерение производят в каждом помещении в нескольких точках (например, в машинном зале, на корпусе генератора, в панели управления и т. д.). На открытой подстанции число точек для измерения должно быть не менее 10 (например, несколько точек заземляющего контура, кожуха трансформатора, бака масляного выключателя и др.).

По данным измерений в отдельных точках и в закрытых помещениях определяют среднеарифметическое значение сопротивления заземления. Сопротивление заземляющих устройств не должно превышать значений, указанных в табл. XVI.3. В сети с заземленной нейтралью металлические опоры и арматура железобетонных опор должны быть соединены с нулевым заземленным проводом.

Таблица XVI.3

Допустимое сопротивление заземляющих устройств для установок напряжением больше 1000 *в* и устройств грозозащиты

Характеристика установки и заземляющего объекта	Сопротивление заземляющего устройства в любое время года, *ом*
Установка с большими токами замыкания на землю (однофазный ток свыше 500 *а*)	$R = 0{,}5$
Установка (без компенсации емкостных токов) с малыми токами замыкания на землю (однофазный ток, равный или меньше 500 *а*):	
заземляющее устройство одновременно используется для электроустановок напряжением до 1000 *в*	$R \leqslant \frac{125}{I^*}$
заземляющее устройство используется только для электроустановок напряжением выше 1000 *в*	$R \leqslant \frac{250}{I^*}$

Характеристика установки и заземляющего объекта	Сопротивление заземляющего устройства в любое время года, *ом*
Заземляющее устройство электрических сетей	$R \leqslant 10$
Заземляющее устройство, к которому присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов:	
мощность больше 100 *ква*	$R \leqslant 4$
мощность 100 *ква* и меньше	$R \leqslant 10$
Заземляющее устройство, к которому присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов, работающие параллельно, при общей мощности до 100 *ква*	$R \leqslant 10$
Заземляющие устройства каждого повторного заземления	$R \leqslant 10$
Электрические сети с сопротивлением заземляющих устройств генераторов и трансформаторов 10 *ом* (при числе их не менее трех)	$R \leqslant 30$
Заземляющие устройства железобетонных, металлических и деревянных опор всех типов, линий напряжением больше 1000 *в* промышленной частоты, на которых установлены устройства грозозащиты или подвешен трос, при отсоединенных тросах в летнее время **:	
удельное сопротивление земли 10^4 *ом·см*	До 10
то же от 10^4 до $5 \cdot 10^4$ *ом·см*	До 15
» » от $5 \cdot 10^4$ до $10 \cdot 10^4$ *ом·см*	До 20
» » больше $10 \cdot 10$ *ом·см*	До 30
Заземляющие устройства линий напряжением до 1000 *в* при изолированной нейтрали	$R \leqslant 50$
Заземляющий контур отдельно стоящего молниеотвода или троса на каждой опоре	$R \leqslant 10$

* *I* — расчетный ток замыкания на землю, *а*.
** Опоры выше 40 *м* на участках высоковольтных линий, защищенных тросами, должны иметь сопротивление заземляющих устройств в два раза меньшее по сравнению с приведенными выше

При защите высоковольтных линий от прямых ударов молнии на подходах к открытым распределительным устройствам на каждой опоре подхода подвешенный трос должен быть присоединен к заземляющему контуру опоры.

4. Измерение сопротивления петли фаза— нуль

В электрических установках напряжением до 1000 *в* с глухозаземленной нейтралью обязательна металлическая связь частей, подлежащих заземлению, с заземленной нейтралью электроустановки. Для таких установок должно быть измерено сопротивление петли, образованной при коротком замыкании фазы на корпус аппарата.

Это сопротивление равно сумме полных сопротивлений Z фазового провода, фазы силового трансформатора и нулевого провода. Измерение производится методом вольтметра — амперметра (рис. XVI.5) для наиболее удаленных электроприемников. Ввиду того, что сопротивление фазы трансформатора при мощности 560 *ква* и больше очень мало, его можно не учитывать. При меньших значениях мощности трансформатора сопротивление его фазы следует либо измерять, либо принимать согласно приведенным ниже данным:

Мощность трансформатора, *ква*	20	30	50	100	180	320
Сопротивление фазы Z, *ом*	0,97	0,72	0,51	0,17	0,12	0,08

Питание петли осуществляется от сварочного или понижающего трансформатора, один вывод которого подсоединяется к заземленной нейтрали трансформатора, а второй — к фазовому проводу как можно ближе к трансформатору, но за отключающим аппаратом.

Для создания петли фаза — нуль конец соответствующего фазового провода у проверяемого оборудования металлически соединяют с корпусом, имитируя замыкание на корпус. Сопротивление петли определяют по формуле

$$Z_{п} = \frac{U}{I}\ [ом].$$

Измерения рекомендуется проводить при максимально возможных значениях тока.

Величина тока однофазного к. з.

$$I_{кз} = \frac{U_{ф}}{Z_{п}}\ [а],$$

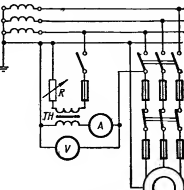


Рис. XVI.5. Схема измерения сопротивления петли фаза — нуль методом вольтметра — амперметра.

где $U_{ф}$ — фазовое напряжение в сети, *в*; $Z_{п}$ — полное сопротивление петли фаза — нуль, *ом* (у проводов из цветных металлов реактивное сопротивление петли принимается из расчета 0,6 *ом/км*).

Величина тока однофазного к. з., определенная таким способом, должна превышать не менее чем в три раза номинальный ток ближайшей плавкой вставки или в 1,5 раза ток отключения максимального расцепителя автоматического выключателя.

5. Измерение удельного сопротивления грунта

1-й способ. В испытуемый грунт забивают стальную трубу или стержень известных размеров. В месте забивкн растительный или насыпной слон должиы быть удалены. Вспомогательный заземлитель н зонд располагают так же, как и при нзмереиии сопротнвлення однночного заземлителя (см. рис. XVI.1). Затем нзмеряют сопротивление растекаиию осиовиого стержня, забитого в месте определения удельиого сопротивления грунта. Трубу (стержень) забивают на заданную глубииу (обычио иа глубнну, бóльшую глубины промерзания груита в данной областн).

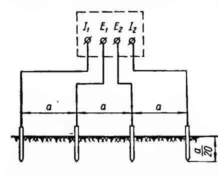


Рис. XVI.6. Прииципиальная схема соедииений при измерении удельиого сопротивления груита.

Удельное сопротивлеиие грунта иа глубине забивки трубы определяют по формуле

$$\rho = 2{,}73 \frac{Rl}{\lg \frac{4l}{d}} \, [ом \; см],$$

где R — сопротивлеине, измереиное нзмерителем заземлеиия, *ом*; l — глубина забнвки трубы, *см*; d — диаметр трубы, *см*.

2-й способ (рис. XVI.6). На испытуемом участке забивают в землю по прямой линии четыре стержня на иекотором расстоянии друг от друга. Глубина забивки стержией не должиа быть более 1/20 этого расстояиия. Зажимы измерителя заземления I_1 н I_2 подсоединяют к крайним стержням, а зажнмы E_1 и E_2 — к соответствующим внутренним стержиям (перемычку между зажимами I_1 и E_2 размыкают).

Перед измереиием прн положеиии переключателя «регулнровка» стрелку устаиавливают иа красную отметку шкалы прнбора, который показывает в этом случае сопротивлеиие между двумя виутренними стержиями.

Удельное сопротивлеиие

$$\rho = 2\pi a R,$$

где R — показание измернтеля заземлеиня, *ом*; a — расстояиие между стержнями, *см*.

Прнближеиио можио счнтать, что прн этом способе получается среднее удельиое сопротивление грунта иа глубиие, равиой расстояиию между забнтыми стержнямн.

6. Измерение сопротивления проводников

Измеритель заземления может быть использован для измерения сопротивления проводников с сопротивлением от 0,01 до 1000 *ом*. Для этого зажимы I_1 и E_1, I_2 и E_2 (рис. XVI.7, *а*) попарно соединяют перемычками и подключают к ним измеряемое сопротивление.

При переводе переключателя в положение «регулировка» стрелку прибора поворотом головки реостата устанавливают на красную отметку шкалы. Затем переключатель переводят в положение «измерение». При измерении малых сопротивлений перемычки с зажимов I_1, E_1 и E_2, I_2 снимают, а к измеряемому сопротивлению присоединяют по два провода (рис. XVI.7, *б*).

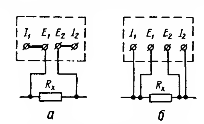


Рис. XVI.7. Схемы измерения сопротивления проводника измерителем заземления.

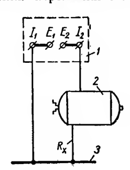


Рис. XVI 8. Схема для измерения сопротивления R_x металлической связи электродвигателя с магистралью сети заземления:

1 — измеритель заземления; *2* — электродвигатель; *3* — магистраль сети заземления.

Сопротивление заземляющей проводки (рис. XVI.8) может быть проверено также измерителем заземления типа МС-08 или МС-07. Целью данной проверки является не измерение точного значения сопротивления проводки, а выявление повреждений и плохих контактов в ней. Поэтому достаточно убедиться, что величина сопротивления не выходит за допустимые пределы (обычно 0,05 — 0,1 *ом*).

Реактивное сопротивление не рекомендуется измерять, так как форма кривой тока измерителя заземления во внешней цепи отличается от синусоидальной и частота тока не является постоянной (зависит от числа оборотов генератора).

ГЛАВА XVII

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

1. Введение

Основные положения и требования, предъявляемые к релейной защите в электроустановках, определены ПУЭ, III-2, «Общей инструкцией по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей» (Госэнергоиздат, 1961), типовым положением Союзглавэнерго «О видах, объеме и сроках проверок релейной защиты...» и др.

Предусматриваются следующие виды проверок релейной защиты: а) при новом включении; б) полные; в) частичные; г) опробование действия выключателей и другой коммутационной аппаратуры, установленной в первичных цепях; д) дополнительные.

В объем проверки при новом включении, как правило, входят:

1) внешний осмотр всех элементов защиты;
2) проверка механической части аппаратуры;
3) проверка схемы и маркировки (см. гл. III);
4) измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением изоляции всех аппаратов и проводок (см. гл. III);
5) проверка правильности выбора предохранителей и автоматов во вторичных цепях (см. гл. XIV);
6) испытание выключателей (см. гл. XII), ТТ и ТН (см. гл. XI);
7) проверка электрических характеристик релейной аппаратуры, вспомогательных устройств, аппаратуры управления и сигнализации;
8) проверка взаимодействия всех элементов схемы и действия защиты на выключатели;
9) проверка защиты в целом при питании от постороннего источника и рабочим током (током нагрузки);
10) подготовка защиты к включению в работу;
11) оформление необходимой технической документации.

При полной проверке, которая производится для периодического контроля защиты, объем работ сокращается: полностью исключаются пп. 3 и 5, а проверка по 2, 6, 7 и 8 производится по частичной программе (для элементов пониженной надежности, работающих в особо неблагоприятных условиях, а также для новой аппаратуры в процессе освоения).

Дополнительные проверки выполняются при необходимости изменения уставок и схемы, при замене отдельных элементов, а также после аварийных отключений, вызывающих сомнения в правильности действия защиты.

2. Ознакомление с релейной защитой

При ознакомлении с релейной защитой в первую очередь следует убедиться в соответствии проекта ПУЭ.

Когда производится внешний осмотр элементов защиты, проверяется следующее: а) наличие всей релейной и вспомогательной аппаратуры, предусмотренной проектом; б) соответствие ее (по паспортным табличкам) проекту и требованиям ПУЭ; в) состояние защитных кожухов и крышек, а также уплотнительных прокладок между крышками и корпусом; г) наличие и правильность выполнения маркировки; д) наличие заземления металлических корпусов аппаратуры и вторичных цепей в местах, предусмотренных проектом; е) наличие плавких вставок предохранителей и соответствие их проектным или расчетным данным; ж) соответствие проекту и ПУЭ сечения проводок вторичной коммутации (токовых, напряжения, оперативных); з) надежность крепления панелей, аппаратуры, реле, шпилек, штырей, ламелей, винтов и гаек, а также всех контактных соединений; и) наличие пломб, всех необходимых надписей, а также разделительных линий на панелях между аппаратурой разных присоединений; к) правильность установки зажимов в цепях отключения и включения (эти зажимы должны отделяться от остальных свободным зажимом или дополнительной изолирующей перегородкой, кроме того, они должны отличаться от других зажимов формой или окраской и не ставиться рядом с зажимом «+»); л) надежность изоляции выводов реле от панели; м) отсутствие ржавчины на контактных зажимах, корпусах аппаратуры, а также на шкафных и панельных щитках.

При внешнем осмотре и проверке механической части вторичных реле необходимо убедиться в отсутствии пыли и грязи в реле, проверить величину и равномерность зазоров между подвижными и неподвижными контактами, а также якорем (барабанчиком) и магнитопроводом, проверить на ощупь и отверткой надежность паек и затяжку винтов, люфт оси подвижной системы реле в подпятниках, убедиться в том, что все витки моментной пружины лежат в одной плоскости (перпендикулярной оси), не касаются друг друга, и между ними сохраняется равномерный зазор при повороте оси или поводка в рабочих пределах, проверить правильность установки безмоментных соединений и наличие люфта мостика подвижных контактов.

Соприкосновение подвижных контактов с неподвижными при повороте якоря рукой должно происходить на расстоянии одной трети длины последних от края. В момент ограничения хода подвижной системы упором подвижные контакты должны находиться на расстоянии двух третях от того же края неподвижных контактов.

Кроме перечисленного выше, следует оценить состояние подпятников и концов осей по наличию или отсутствию заеданий и затираний. Исправность агатовых подпятников (отсутствие трещин и выкрашивания) проверяют прощупыванием кратера стальной иглой. Бронзовые подпятники и концы осей осматривают через часовую лупу. Загрязненные подпятники прочищают заостренной деревянной палочкой. Однако их ни в коем случае не следует смазывать.

Грязные, закопченные и подгоревшие контакты следует зачистить надфелем и отполировать воронилом; запрещается промывать контакты бензином, спиртом и другими составами.

Проверка электрических характеристик релейной аппаратуры

Электрические характеристики реле и релейной аппаратуры проверяют на основании указаний, приведенных в параграфах 3 и 11 настоящей главы.

При проверке электрических характеристик общими для всех реле являются следующие рекомендации.

1. Реле целесообразно проверить на месте установки; в некоторых случаях допустимо проверять реле в лабораториях с обяза-

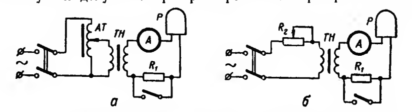


Рис. XVII.1. Схемы регулировки тока при проверке токовых реле с помощью нагрузочного трансформатора:
а — с регулировочным автотрансформатором АТ; *б* — с регулировочным реостатом.

тельной повторной проверкой контрольной точки характеристики после установки их на место.

2. Коэффициент возврата реле необходимо проверять во всех случаях (даже тогда, когда он не нормируется), поскольку он является показателем исправности реле.

3. Параметры срабатывания и возврата реле следует определять, как правило, при плавном изменении электрических величин.

4. Работу контактов реле нужно проверять при той же нагрузке, которую они несут в схеме защиты.

5. Электрические характеристики реле, изменяющих свои параметры при искажении формы кривой тока (индукционные реле, реле с БНТ и др.), следует проверять при соблюдении следующих условий: а) для питания реле нужно пользоваться линейным напряжением распределительной сети; б) для предотвращения влияния насыщения сердечников реле P на форму кривой тока последовательно с реле необходимо включить активное сопротивление R_1 (рис. XVII.1 и XVII.2) такой величины, чтобы падение напряжения на нем при всех значениях тока было не меньше пяти-, десятикратного напряжения на реле (или всех индуктивных сопротивлениях схемы).

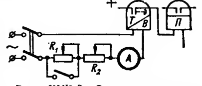


Рис. XVII.2. Схема регулировки тока без искажения формы кривой при проверке токовых реле.

6. Реле, подверженные вибрации, могущей привести к неправильным действиям или повышенному механическому износу, следует проверять на отсутствие вибрации в диапазоне токов, протекание которых в реле возможно при одном из режимов работы электроустановки.

7. При повторных проверках защит за основу рекомендуется принимать следующие максимально допустимые отклонения от измеренных при предыдущих проверках: а) выдержка времени быстродействующих защит без реле времени $\pm 0{,}05$ *сек*; б) выдержка времени защит с независимой характеристикой $\pm 0{,}1$ *сек*; в) выдержка времени защит с зависимой характеристикой в зависимой части (контрольные точки) $\pm 0{,}15$ и в независимой $\pm 0{,}1$ *сек*; г) выдержка времени встроенных в привод реле в независимой части $\pm 0{,}15$ *сек*; д) сопротивление срабатывания дистанционных защит $\pm 3\%$; ж) ток (напряжение) срабатывания реле переменного тока $\pm 3\%$ (для несогласуемых защит $\pm 5\%$); з) ток (напряжение) срабатывания реле, встроенных в привод, $\pm 5\%$, для отключающих и включающих катушек $\pm 5\%$; и) мощность срабатывания реле напряжения переменного тока, напряжение и ток срабатывания реле постоянного тока $\pm$ (3—5)%; к) коэффициент возврата реле, не встроенного в привод, $\pm 0{,}03$, встроенного в привод, $\pm 0{,}05$.

При настройке и проверке электрических характеристик реле ток и напряжение от испытательных устройств желательно подводить к входным зажимам панели. В этом случае полностью учитывается наличие в цепях реле различных вспомогательных устройств, влияющих на характеристики защиты, и одновременно обеспечивается дополнительная проверка правильности монтажа всего устройства защиты и взаимодействия реле в схеме.

3. Реле прямого действия

Реле прямого действия, сердечник которых воздействует непосредственно на привод выключателя, наиболее широкое применение нашли в городских и сельских электросетях напряжением 3—10 *кв* и на промышленных предприятиях. На их базе выполняются максимально токовые защиты воздушных и кабельных линий, силовых трансформаторов мощностью до 1000 *ква*, статических конденсаторов, высоковольтных электродвигателей, а также токовые отсечки, защиты минимального напряжения, защиты от перегрузки и, в сочетании с вторичными реле, более сложные защиты и устройства автоматики.

Применяют следующие типы реле прямого действия: токовые мгновенные (РТМ), токовые с механизмом выдержки времени (РТВ) типа КАМ и др. и реле напряжения (РН, РНВ).

Реле типа РТМ (табл. XVII.1) при токе 5 *а* и отпущенном сердечнике потребляет мощность 90 *ва*, при втянутом сердечнике — 50 *ва*.

Таблица XVII.1

Обмоточные данные реле типа РТМ
(марка провода ПБД; диаметр 1,81 *мм*)

Реле завода «Уралэлектроаппарат»			Реле завода «Электроаппарат»		
Ток срабатывания, *а*	Число витков на отпайке	Омическое сопротивление, *ом*	Ток срабатывания, *а*	Число витков на отпайке	Омическое сопротивление, *ом*
5	270	0,27	5	270	0,27
7	193	0,174	7	193	0,174
9	150	0,127	8	169	0,141
11	123	0,105	10	135	0,120
13	104	0,086	12,5	108	0,090
15	90	0,072	15	90	0,072

Реле РТВ типа КАМ (табл. XVII.2) имеет ограниченно зависимую характеристику выдержки времени t (рис. XVII.3). Уставки по току согласно шкале — 5, 6, 7, 8, 9, 10 *а* (рис. XVII.4). Число ампервитков срабатывания 1500.

Максимальный ток срабатывания реле при подключении токовых цепей к выводам *9* и *10* с 17 витками 89 *а*. Уставки по времени (в независимой части характеристики) от 0,5 до 4 *сек*. Повороту стакана на один оборот соответствует изменение уставки на 0,5 *сек*. Погрешность по времени в независимой части характеристики ±0,15—0,2 *сек*. Коэффициент возврата реле 0,8—0,85. Потребляемая мощность реле при токе 5 *а* и поднятом сердечнике 50, при опущенном сердечнике 90 *ва*.

Реле типа РТВ имеет ограиичеиио зависимую характеристику. Уставки по току, обмоточные даиные катушки и потреблеиие реле такие же, как у реле типа КАМ. Уставки по времеии 0—4 *сек.* Погрешность часового механизма не превышает $\pm 0{,}2$—0,3 *сек.* Для умеиьшеиия погрешиости при малых выдержках времени целесообразно сиимать аикер. Коэффициент возврата 0,8—0,85.

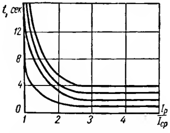


Рис. XVII.3. Характеристики реле типа КАМ $t = f(I)$.

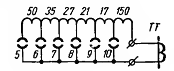


Рис. XVII.4. Схема обмотки реле типа КАМ.

Реле типа РН имеет иапряжение подтягивания сердечиика к стопу 65—85% номииальиого. Потребляемая мощность реле 30 *ва* (табл. XVII.3).

Таблица XVII.2

Обмоточные данные реле РТВ типа КАМ
(марка провода ПБД, диаметр 1,81 *мм*)

Уставка по шкале, *а*	Число витков на отпайке	Омическое сопротивление, *ом*
5	300	0,3
6	250	0,236
7	215	0,195
8	188	0,166
9	167	0,143
10	150	0,127

Таблица XVII.3

Обмоточиые даииые катушки реле типа РН
(марка провода ПЭЛ)

Номииальное напряжение реле, *в*	Число витков в катушке	Диаметр провода, *мм*	Омическое сопротивление, *ом*
110—127	3000	0,38	53
220	6000	0,29	190
380	10800	0,2	715
500	14300	0,2	1000

Реле типа РНВ — это сочетаиие реле РН с часовым механизмом от реле РТВ. Пределы изменения выдержки времеии 0—5 *сек.* Номииальиое напряжеиие 100 *в.* Число витков в катушке 2720. Марка и диаметр провода ПЭЛ и 0,44. Потребляемая мощность реле 30 *ва.*

Проверка реле прямого действия

Во время внешиего осмотра и проверки механической части реле обращают виимание на правильность сборки и регулировки механической части привода, на отсутствие перекосов и надежность

крепления реле к приводу, на наличие зазора между ударником и рычажком валика отключения в приводе.

Кроме того, у реле типа РТМ удаляют сердечник, все трущиеся поверхности подвергают тщательной чистке, проверяют наличие медных (латунных) шайб внизу и наверху сердечника. Затем сердечник устанавливают на свое место.

У реле типа КАМ проверяют надежность крепления механизма выдержки времени к стакану (наличие контргайки обязательно), наличие стопорных винтов, а также убеждаются в том, что стакан

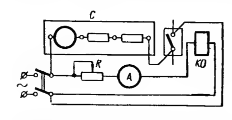


Рис. XVII.5. Схема проверки электрических характеристик РПД. Реостат R плавно изменяет ток от 2—3 до 40—50*а*.

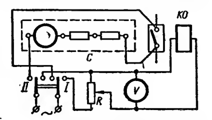


Рис. XVII.6. Схема проверки электрических характеристик реле минимального напряжения прямого действия.

вращается легко, без заеданий. При удержании реле, снятого с привода, за головку ударника оно под действием собственного веса должно четко, без перебоев срабатывать.

При осмотре реле типа РН (РНВ) проверяют отсутствие затирания при движении сердечника и штока, затяжку винта в сердечнике и состояние к. з. витка на нем, опробуют действие системы ломающихся рычагов, проверяют надежность крепления их к корпусу реле.

У токовых реле прямого действия (РПД) типа РТМ, РТВ, КАМ электрические характеристики проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.5, где КО — катушка отключения, C — секундомер.

Ток срабатывания реле на заданной уставке проверяют при открытой крышке привода. Повышать ток в реле следует плавно. Коэффициент возврата реле не определяют из-за сложности проведения опыта и невозможности изменять этот коэффициент у РПД. В протокол проверки записывают среднее значение двух-трехкратного измерения тока срабатывания.

Токо-временную характеристику реле снимают при закрытой крышке привода выключателя. Вначале на шкале реле устанавливают контрольную точку характеристики методом последовательных проб. Затем снимают четыре-пять точек характеристики при токах

в 1,5; 2; 3; 4 и 5 раз бо́льших тока срабатывания. Для получения каждой точки характеристики проводят три-четыре опыта; в протокол записывают среднее значение результатов измерения.

Точку характеристики, соответствующую току срабатывания реле, не определяют ввиду чрезмерно большого разброса реле по времени при этом токе.

Схема снятия характеристик реле минимального напряжения (типа РН, РНВ) приведена на рис. XVII.6. Напряжение срабатывания $U_{ср}$ и возврата $U_в$ таких реле определяют при плавном изменении подведенного к ним напряжения. Перекидной рубильник устанавливают в положение I.

При подаче на реле напряжения срабатывания сердечник отпадает, при напряжении возврата — подтягивается. Напряжение срабатывания лежит в пределах 35—65% номинального и регулируется у реле типа РН при изменении натяжения пружины. Напряжение возврата составляет 65—85% номинального.

Коэффициент возврата определяется из выражения

$$K_в = \frac{U_в}{U_{ср}}. \qquad (XVII.1)$$

Обычно $K_в = 1,5—2$.

Время срабатывания реле на заданной уставке проверяют при быстром переключении перекидного рубильника в положение II после того, как на реле подано номинальное напряжение. По истечении времени уставки выключатель отключает электросекундомер, фиксирующий время срабатывания реле. В протокол испытаний записывают среднее значение трех измерений.

4. Мгновенные реле тока и напряжения серии ЭТ и ЭН

Мгновенные реле тока используют в качестве пусковых органов максимально токовых, дифференциальных, направленных защит, токовых отсечек и т. п. Реле напряжения применяют как пусковой элемент защиты и блокировки минимального напряжения и максимальной защиты. И те, и другие реле широко используются в устройствах автоматики как чувствительные элементы тока и напряжения.

Обмотки реле можно включать непосредственно и через измерительные ТТ и ТН в установках промышленной частоты. Реле используют также в устройствах постоянного тока.

Рассматриваемые выше реле проходят проверку в следующем объеме: а) внешний осмотр и проверка механической части; б) про-

верка состояния изоляции обмоток и контактов (см. гл. III); в) проверка электрических характеристик; г) настройка реле; д) проверка отсутствия вибрации; е) проверка токовых реле ударным током.

Внешний осмотр и проверка механической части

При внешнем осмотре и проверке механической части реле следует обращать внимание на то, чтобы продольный и поперечный люфты (зазоры) в осях не превышали 0,15—0,2 *мм*. Якорь во втянутом положении должен упираться в правый верхний винт упора. Между нижним винтом упора и плоскостью втянутого якоря сохраняется зазор 0,2—0,3 *мм*. Зазор между неподвижными контактами и мостиком (с каждой стороны) должен быть не меньше 1,5 *мм*. Реле регулируют таким образом, чтобы угол встречи подвижного и неподвижного контактов не превышал 25—35°. Совместный ход контактов при срабатывании реле должен составлять 1—1,5 *мм*.

Необходимо, чтобы зазоры контактного мостика позволяли ему поворачиваться вокруг оси на 10—15°. В реле с нормально закрытыми (н. з.) контактами необходимо, чтобы при отсутствии тока в обмотке подвижная система прогибала немного контактные пружины. Зазор между винтами упора и плоскостью якоря при этом должен быть не меньше 0,5 *мм*. При плавном повороте якоря от руки неподвижные контакты должны следовать на некотором расстоянии за мостиком, не разрывая цепи. В реле с нормально открытыми (н. о.) и нормально закрытыми контактами зазор между мостиком и неподвижной частью контактов как при подтянутом, так и при опущенном положении якоря составляет примерно 2 *мм*.

Проверка электрических характеристик реле и настройка их

Токи и напряжения срабатывания и возврата реле определяют при плавном изменении их по схемам, приведенным на рис. XVII.1, XVII.7 и XVII.8. Сопротивление R_1, включенное последовательно с обмоткой реле тока и превосходящее ее по сопротивлению в 7—10 раз, служит для исключения влияния перемещения якоря на величину тока в реле. Величину токов (напряжений) срабатывания и возврата определяют не меньше трех раз на каждой уставке шкалы. Разброс полученных величин не должен превышать 5% среднего значения. Выбранная уставка реле не должна находиться в первой трети шкалы.

После трехкратной проверки срабатывания реле на выбранной уставке его проверяют на отсутствие вибрации. Для этого через контакты реле включают лампу накаливания и ток в катушке плавно, но быстро повышают от величины, равной току срабатывания, до максимального значения вторичного тока к. з. Лампа при

всех значениях тока должна гореть ровным светом без миганий и погасаний. Затем реле толчком 5—10 раз включают на максимальный ток к. з. (проверка ударным током). После этого повторно определяют токи срабатывания и возврата реле при выбранной уставке. Отклонеиия от ранее измеренных величин свидетельствуют о наличии неисправностей механического характера (о затирании в осях, плохом креплении деталей и т. п.); после устранения неисправностей проверку повторяют.

Устранение вибрации (или уменьшеиие ее) у РМН, нормально находящихся под полным напряжением установки, производится при максимальном введении якоря под полюса.

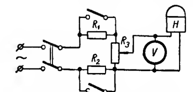


Рис. XVII.7. Схемы проверки электрических характеристик реле напряжения серии ЭН реостатами ($R_1 - R_3$).

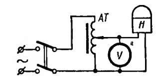


Рис. XVII.8. Схема проверки реле напряжения с помощью регулировочиого АТ.

5. Токовые реле с ограниченно зависимой характеристикой серии ИТ-80 и РТ-80

Реле серии ИТ-80 и РТ-80 широко применяют для защиты от к. з. и перегрузок сетей 3—10 *кв*, поиижающих трансформаторов напряжением 110 и 35 *кв*, высоковольтных электродвигателей.

Индукционные реле серии ИТ-80 и РТ-80 имеют ограниченно зависимую характеристику выдержки времени. В реле встроен электромагнитный элемент мгновенного действия, позволяющий при больших кратностях тока (от двух до восьми) к. з. осуществлять токовую отсечку без установки дополнительных реле.

Коммутационная способность контактов

Нормально открытые контакты реле типа ИТ-80Б, ИТ-83 и ИТ-84 способны включить цепь постоянного или переменного тока 5 *а* при напряжении до 220 *в*. Однако разрыв этой цепи должен быть произведен другими контактами (обычно блок-контактами выключателя).

Нормально закрытые контакты этих реле могут разорвать переменный ток 2 *а* при напряжении 220 *в*. Если управляемая цепь

питается от ТТ и при токе 4*а* ее импеданс не превышает 4 *ом*, контакты способны шунтировать и дешунтировать эту цепь при токе до 50 *а*.

Сигнальные н. о. контакты реле типа ИТ-83, ИТ-84 и ИТ-86 способны включить и разорвать цепь постоянного тока до 0,2 *а* и переменного до 1 *а* при напряжении 220 *в*.

Главные контакты реле типа ИТ-85 и ИТ-86 могут шунтировать и дешунтировать управляемую цепь при токе до 150 *а*, если цепь питается от ТТ и ее полное сопротивление при 3,5 *а* не больше 4,5 *ом*.

Проверка реле серии ИТ-80 и РТ-80

В объем общей проверки реле серии ИТ-80 и РТ-80 входят внешний осмотр, проверка механической части, изоляции и электрических характеристик реле, настройка и проверка реле на рабочих уставках.

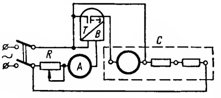


Рис. XVII.9. Схема проверки времени срабатывания реле серии ИТ-80Б.

При внешнем осмотре и проверке механической части должны быть установлены отклонения от требований, предъявляемых к реле. При нормальной работе реле зазоры между диском и магнитом не должны быть меньше 0,3 *мм* с каждой стороны; при повороте на любой угол диск не должен «бить». Поверхность полюсов магнита должна быть ровной и чистой. Максимально допустимые люфты в подпятниках: у рамки 1 *мм*, у диска 0,5 и у якоря отсечки 0,1—0,2 *мм* (в горизонтальном направлении).

В оси сектора не должно быть затирания, сектор должен возвращаться в исходное положение после прекращения зацепления в любой его части. При исправном состоянии подпятников и оси диск делает один оборот за 5—8 *сек* при токе, равном 50% нижнего предела шкалы. Измерение нужно производить при установившейся скорости вращения диска. Ток трогания диска составляет 20—30% тока срабатывания реле.

Правильность работы червячной пары проверяют при токе, равном минимальному току срабатывания реле и максимальной уставке по времени. В исправном реле сектор надежно сцепляется с червяком и плавно поднимается до конца нарезки без заеданий и соскакивания.

Зазор между подвижным и неподвижным н. о. контактами должен быть не меньше 2 *мм*, а у сигнальных контактов — не меньше 1,5 *мм*. Контакты должны иметь сферическую форму; их поверх-

ность должна быть чистой, не иметь царапин и выбоин. Грязные и подгоревшие контакты нужно чистить мелким надфелем и полировать воронилом.

При регулировке перебрасывающихся контактов реле типа ИТ-85 и ИТ-86 необходимо, чтобы даже кратковременно (однократная вибрация) цепь ТТ не оказалась разомкнутой, так как при этом оказалось бы неизбежным приваривание контактов. Для регулировки контактов этих реле следует пользоваться граммомером.

На рис. XVII.2, XVII.9 и XVII.10 приведены схемы проверки токов срабатывания и возврата, времени срабатывания реле типа ИТ-80Б и токов срабатывания и коммутационной способности контактов реле ИТ-85 и ИТ-86.

Рис. XVII.10. Схема проверки тока срабатывания и коммутационной способности главных контактов реле типа ИТ-85 и ИТ-86 (трансформатор рассчитан на вторичный ток 150*а*).

Положение рубильника и переключателя показаны для случая проверки токов срабатывания индукционного элемента.

Особенности проверки электрических характеристик реле серии ИТ-80.

1. Индукционный элемент реле следует проверять при питании от линейного напряжения сети и регулировке тока с помощью реостата (без нагрузочного трансформатора) во избежание искажения формы кривой тока.

2. Электромагнитный элемент при больших значениях токов можно проверять по схеме, приведенной на рис. XVII.1, *а*; форма кривой тока при этом значения не имеет.

3. Ток и время срабатывания реле проверяют только при надетом кожухе и затянутых до отказа барашках, чтобы убедиться в отсутствии перекосов и учесть влияние кожуха на магнитное поле реле.

4. При определении тока срабатывания его нужно увеличивать плавно, начиная от 0,5 — 0,6 тока уставки.

5. Ток и коэффициент возврата следует определять двумя способами: 1) при плавном снижении тока в реле при подходе рычага сектора к коромыслу отсечки; 2) при сбросе тока от значения, равного пятикратному току уставки, до величины тока возврата при том же положении рычага сектора.

При определении коэффициента возврата электромагнитный элемент должен находиться в положении, соответствующем выведенной отсечке.

6. Временные характеристики реле проверяют при крайних уставках по шкале времени и при одной из уставок по току срабатывания, а также на заданной характеристике.

После каждого срабатывания реле при снятии временной характеристики механический указатель (блинкер) нужно возвращать в исходное положение.

7. Отсутствие вибрации и искрения контактов реле проверяют при работе на такую же нагрузку, как и в схеме защиты при токах от 105% тока срабатывания до максимального вторичного тока к. з., который может протекать через реле.

8. Уставка тока срабатывания отсечки не допускается ниже двухкратной, так как при этом возможно срабатывание реле от сотрясения. Если отсечка не используется, ее необходимо вывести из действия и проверить, не срабатывает ли она при максимальном значении тока к. з. в реле.

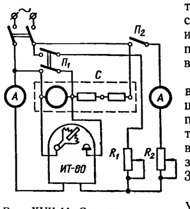


Рис. XVII.11. Схема измерения времени возврата реле серии ИТ-80 при сбросе аварийиого тока.

9. Необходимо проверять время возврата реле, которое не должно превышать 0,5 *сек*. Эту проверку можно не производить только на реле в защитах тупиковых элементов электроустановок (защитах электродвигателей, понизительных трансформаторов с НН 220—380 *в* и т. п.).

При проверке времени реостатом R_2 устанавливают ток, равный 75% тока возврата реле, а реостатом R_1 — максимальный расчетный вторичный ток к. з. (рис. XVII.11). После включения рубильников $П_1$ и $П_2$, когда рычаг сектора достигает коромысла отсечки, отключают рубильник $П_1$. Во время испытаний на нижнем упоре сектора устанавливают дополнительный н. з. контакт.

6. Дифференциальные реле типа ЭТ-561, РНТ-562 и РНТ-563

Реле типа ЭТ-561 со вспомогательным трансформатором ВТН-561

Реле типа ЭТ-521 со вспомогательным быстронасыщающимся трансформатором ВТН-561 используют в схемах дифференциальной защиты генераторов, трансформаторов и шин.

На сердечнике трансформатора размещены три обмотки: диффе-

ренциальная, выравнивающая и вторичная. Дифференциальная и выравнивающая обмотки имеют отпайки, выведенные к гнездам на панельке трансформатора.

Количество витков дифференциальной обмотки, которое должно быть включено в работу, определяется из выражения

$$w_{д} = \frac{100}{I_{ср}}, \qquad (XVII.2)$$

где $I_{ср}$ — вторичный ток срабатывания дифференциальной защиты.

Выравнивающая обмотка, служащая для уравнения токов в плечах дифференциальной защиты трансформаторов, включается в плечо с меньшим током. Число витков ее

$$w_{в} = w_{д} \frac{1-K}{K}, \qquad (XVII.3)$$

где K — отношение меньшего тока к большему в плечах дифференциальной защиты.

Дифференциальное реле типа РНТ-562

Реле типа РНТ-562 применяют в схемах дифференциальной защиты трехобмоточных трансформаторов, а также генераторов, двигателей, шин и двухобмоточных трансформаторов.

Реле состоит из быстронасыщающегося трансформатора (БНТ) и исполнительного органа — реле типа ЭТ-521. На среднем стержне (большего сечения, чем остальное) трехстержневого магнитопровода размещены дифференциальная обмотка и частично совмещенные уравнительные обмотки (табл. XVII.4).

Таблица XVII.4

Обмоточные данные реле типа РНТ-562

Обмотка	Полное число витков	Марка провода	Диаметр провода, *мм*	Длительно допустимый ток, *а*
Дифференциальная	20	ПБД	1,56	10
Уравнительная	19	ПБД	1,56	10
Уравнительная	19	ПБД	1,56	10
Короткозамкнутая среднего стержня	28	ПБД	1 45	—
Короткозамкнутая крайнего стержня	56	ПБД	1,45	—
Вторичная	48	ПБД	1,0	—
Реле ЭТ-521	2×500	ПЭВ—2	0,35	—

Примечания.

1. Секции обмотки реле типа ЭТ-521 соединяются параллельно. Ток срабатывания реле ЭТ-521 — 0,2 *а*.
2. Длительно допустимые токи приведены для режима, когда в БНТ отсутствует магнитный поток.

В отличие от трансформатора ВТН-561 трансформатор БНТ снабжен к. з. обмоткой, расположенной на среднем и одном из крайних стержней магнитопровода, которая улучшает отстройку защиты от токов небаланса с апериодической составляющей. На другом крайнем стержне расположена вторичная обмотка (рис. XVII.12).

Реле типа РНТ-562 имеет следующие технические данные. Число ампервитков срабатывания 60 ± 4. Пределы ступенчатой регулировки

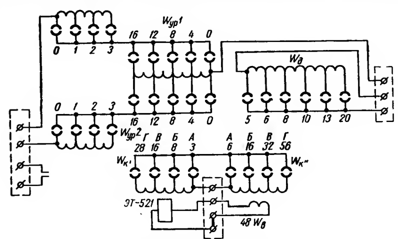


Рис. XVII.12. Схема внутренних соединений реле типа РНТ-562. Цифрами указано число витков по отпайкам:

$w_д$ — дифференциальная обмотка; $w_{ур1}$ и $w_{ур2}$ — уравнительные обмотки; $w_{к'}$ — к. з. обмотка среднего стержня; $w_{к''}$ — к. з. обмотка крайнего стержня; $w_в$ — вторичная обмотка.

токов срабатывания: 3 — 12 *а* при использовании только дифференциальной обмотки; 1,5—12 *а* при использовании дифференциальной и уравнительной обмоток.

Степень отстройки реле от переходных токов аварийных режимов, характеризуемая кривой $E = f(K)$, может регулироваться ступенями при включении различного числа витков к. з. обмотки. Коэффициент загрубления реле

$$E = \frac{I_{ср.\,пер}}{I_{1ср}};$$

коэффициент смещения

$$K = \frac{I_{пост}}{I_{ср\ пер}},$$

где $I_{1ср}$ — ток срабатывания реле при отсутствии постоянной составляющей; $I_{ср.\ пер}$ — переменная составляющая тока срабатывания при наличии постоянной составляющей; $I_{пост}$ — постоянная составляющая тока в реле типа РНТ-562.

На рис. XVII.13 приведены кривые $E = f(K)$, полученные по заводским данным, для различного положения штеккеров к. з. обмотки.

Коэффициент надежности, представляющий собой отношение синусоидального тока срабатывания исполнительного органа при пер-

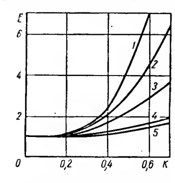


Рис XVII.13. Характеристики загрубления реле типа РНТ-562. Кривые соответствуют положению штеккеров в гнездах:

1 — Г—Г; 2 — В—В; 3 — Б—Б; 4 — А—А; 5 — обмотка $w_к$ разомкнута.

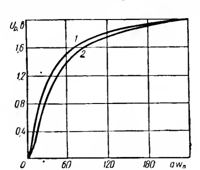


Рис. XVII.14. Характеристики намагничивания реле типа РНТ-562, снятые детекторным прибором (авометром типа Ц-315):

1 — обмотка $w_к$ разомкнута; 2 — обмотка $w_к$ замкнута.

вичном токе, равном $5I_{1ср}$, к синусоидальному току срабатывания при первичном токе, равном $I_{1ср}$, составляет не менее 1,35. При первичном токе $2I_{1ср}$ это отношение составляет больше 1,2. Время действия реле при первичном токе, равном $3I_{1ср}$, не превышает 0,035 *сек*.

Реле имеет один н.о. контакт, разрывная мощность которого в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой равна 50 *вт* при напряжении до 220 *в* и токе до 2 *а*. Площадь сечения каждого крайнего стержня магнитопровода составляет 1,25 *см²*.

В программу проверки реле типа РНТ-562 входит: внешний осмотр, проверка механической части, испытание изоляции, снятие характеристик намагничивания, определение коэффициента надежности, проверка отпаек к. з. обмотки, проверка и регулировка реле ЭТ-521.

Снятие характеристик намагничивания. Характернстика намагннчивания реле тнпа РНТ-562 (БНТ) — это завнсимость напряжения на обмотке нсполнntельного органа — реле ЭТ-521 — $U_р$ от первичных ампервитков $aw_п$ (рис. XVII.14): $U_р = f(aw_п)$.

Эта характеристика позволяет судить об нсправности магнитной системы и обмоток БНТ, а также о правильности выполнения к. з. обмотки.

Если характернстнка намагннчивания снимается теми же прнборами н по той же схеме, что н заводская, расхождение прн отсутствии поврежденнй не превышает 5—7%.

При снятнн характернстики весьма существенно, чтобы ток первичных обмоток был синусоидальным, что имеет место прн дейстbнтельных условиях работы реле в схеме защнты. Для обеспечения синусондальностн тока первичных обмоток реле регулнровочный АТ должен быть включен на лннейное напряженне сети, а последовательно с первичными обмоткамн необходнмо включить актнвное сопротивление, превышающее не менее чем в 8—10 раз полное сопротивленне реле.

При разлнчном чнсле витков первнчных обмоток это соответствует следующим величинам сопротивления:

Число витков	5	10	20	30	40
Добавочное сопротивление, *ом*	1,5	3	5	8	10

Схема соединений для снятия характеристик намагннчнвания приведена на рис. XVII.15, где KB — контактор; B_1 н B_2 — блокконтакты включення. Якорь реле ЭТ-521 заклнннвается в отпавшем положенин. Вольтметр на пределе 2—3 *в* должен иметь сопротивленне не меньше 100 *ом*. Характернстнка должна быть снята достаточно быстро нли в несколько прнемов во нзбежание недопустимого нагрева обмоток реле.

Определение коэффициента надежности. Прн приемо-сдаточных н профнлактических испытаннях реле коэффицнент надежности может быть определен в процессе снятия характеристик намагннчивання как отношенне напряженнй на обмотке реле ЭТ-521 при первнчных ампервитках, равных 300 (U_{300}) и 60 (U_{60}):

$$K_н = \frac{U_{300}}{U_{60}}. \qquad \text{(XVII.4)}$$

Проверка и выбор отпаек к. з. обмотки пронзводятся при пнтаннн первнчных обмоток БНТ по схеме, прнведенной на рнс. XVII.15 при 120 первнчных амперanтках. Оба штепсельных винта удаляют из гнезд н нзмеряют напряжение между выводом, являющимся средней точкой к. з. обмоткн, и каждым прнсоединеннем к гнездам.

Если обмотка выполнена правильно, напряжение, измеренное между выводом и одноименными гнездами, будет примерно одинаковым, и при перемещении от гнезд *А* к гнездам *Г* должен наблюдаться рост напряжения. Измеренное напряжение при указанных выше условиях находится в пределах 0,2—2,5 *в*.

В некоторых случаях, кроме этой проверки, необходимо также снять характеристику загрубления РНТ $E = f(K)$. Методика снятия характеристики приведена ниже.

Увеличение числа включенных витков к. з. обмотки, с одной стороны, повышает надежность отстройки дифференциальной защиты от бросков тока намагничивания, а с другой, увеличивает время действия защиты.

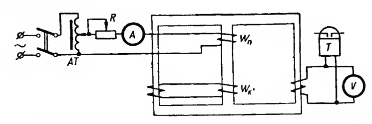


Рис. XVII.15. Схема для снятия характеристик намагничивания реле типа РНТ-562.

Рекомендуется установка следующих отпаек к. з. обмотки:

1) в дифференциальных защитах трансформаторов при большом коэффициенте чувствительности (больше 3), а также когда загрубление защиты несущественно отражается на полном времени отключения короткого замыкания, штепсельные винты устанавливают в гнезда *В—В* или *Г—Г*;

2) в дифференциальных защитах остальных трансформаторов используют отпайки *Б—Б*;

3) в дифференциальных защитах генераторов используют отпайки *А—А*.

Проверка и регулировка параметров реле РНТ. Ампервитки срабатывания реле определяют для всех отпаек при включении его по схеме, указанной на рис. XVII.15. Количество к. з. витков устанавливают согласно предварительному выбору. Для упрощения реле можно проверить и отрегулировать при максимальном числе первичных ампервитков (дифференциальная и уравнительная обмотки соединены последовательно), а затем — на выбранной (заданной) уставке.

Отсутствие вибрации контактов проверяют при изменении первичных ампервитков в диапазоне 0—300. После окончания настройки

реле осмотр необходнмо повторить. Все виты и гайки затягивают, реле плотно закрывают крышкой и пломбируют.

Методика снятия характеристики загрубления реле РНТ $E = f(K)$. Для сиятия характернстики собирают схему, приведениую иа рис. XVII.16. Постояиный ток подводят к уравиительиой обмотке с числом витков 19, синусоидальный перемеиный — к диффереициальной с числом витков 20.

Во избежаиие искажеий, вызываемых траисформацией переменного тока в цепь постоянного, источник последнего должен быть иапряжением примерно 100 *в*. Штепсельиые винты к. з. обмотки устанавливают поочередно в одноименные гнезда (*А—А*, *Б—Б*, *В—В*

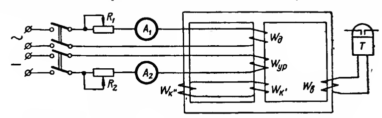


Рис. XVII.16. Схема для сиятия характеристик загрубления реле типа РНТ-562.

или *Г—Г*). Ампервитки срабатываиия реле $aw_{ср}$ определяют прн ампервитках постоянного тока, равных 0; 2; 4; 6; 8.

Для всех точек рассчитывают такие величины: коэффициеит смещения

$$K = \frac{aw_{пост}}{aw_{ср.\ пер}}, \qquad \text{(XVII.5)}$$

коэффициент загрубления

$$E = \frac{aw_{ср.\ пер}}{aw_{ср}}. \qquad \text{(XVII.6)}$$

Прн этом $aw_{ср}$ определяют прн опыте без подмагиичиваиия постоянным током ($aw_{пост} = 0$ н $K = 0$).

Дифференциальные реле типа РНТ-563

Реле типа РНТ-563 принципиально не отличается от реле РНТ-562. Отличие заключается в том, что все первичиые обмотки реле РНТ-563 разделены и любая из иих может быть использоваиа в качестве дифференциальиой, либо уравнительиой. Две из иих рассчитаны иа номинальный ток 1 *а*, третья — иа 5 *а* (рис. XVII.17).

Технические даиные реле РНТ-563 приведены ниже. Число ампервитков срабатывания 60 ± 4. Пределы ступеичатой регулировки

токов срабатывания: 0,33 — 2 *а* для обмотки w_1, 0,66 — 4 *а* для обмотки w_2, 4,6 — 30 *а* для обмотки w_3. Характеристики загрубления реле $E = f(K)$ приведены на рис. XVII.18.

Коэффициент надежности, время действия, разрывная мощность контактов, площадь сечения крайних стержней реле типа РНТ-563 такие же, как у реле типа РНТ-562. Объем и методика проверки реле типа РНТ-563 те же, что у реле типа РНТ-562.

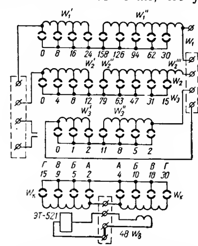


Рис. XVII.17. Схема внутренних соединений реле типа РНТ-563.

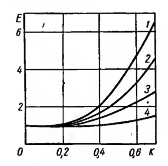


Рис. XVII.18. Характеристики загрубления реле типа РНТ-563. Кривые соответствуют положению штеккеров в гнездах:

1 — Г—Г; *2 — В—В*; *3 — Б—Б*; *4 — А- А*.

Сопротивления, включаемые последовательно с первичной обмоткой для обеспечения синусоидальности тока при снятии характеристик намагничивания и при других проверках реле типа РНТ-563, имеют следующие значения:

Число витков первичной обмотки	5	10	20	40	60	120	180
Добавочное сопротивление, *ом*	1,5	3	5	10	15	30	50

7. Реле направления мощности

Реле направления мощности применяют в следующих схемах релейной защиты:

1) направленных защитах от междуфазных к.з. (реле типа ИМБ-171А/1; ИМБ-172А/1; РБМ-171/1 и РМБ-171/2);

2) направленных защитах от замыканий на землю в сетях с наглухо заземленной нулевой точкой (реле типа ИМБ-178А/1; ИМБ-178А/2; РБМ-177/1; РБМ-177/2; РБМ-178/1 и РБМ-178/2);

3) поперечных направленных дифференциальных защитах параллельных линий от междуфазных к.з. (реле типа РБМ-271/1 и РБМ-271/2) и от замыканий на землю (реле типа РБМ-277/1; РБМ-277/2; РБМ-278/1 и РБМ-278/2).

Реле типа ИМБ и РБМ имеют следующие технические данные. Номинальное напряжение реле 100 *в*. Номинальный ток реле с индексом «1» составляет 5*а*, с индексом «2» — 1*а*. Время действия 0,04 *сек* у реле ИМБ при пятикратной мощности срабатывания, у реле РБМ — при трехкратной. Разрывная мощность контактов на постоянном токе 50 *вт* и на переменном токе 250 *ва* при напряжении до 220 *в* и токе до 2 *а*.

Таблица XVII.5

Характеристика реле направления мощности

Тип реле	Угол максимальной чувствительности, *град*	Число нормально открытых контактов	Максимальная мощность срабатывания, *ва*		Потребление, *ва*		Дополнительное сопротивление, *ом*		Емкость, *мкф*
			при $I_{ном}$	при $10\ I_{ном}$	цепи тока	цепи напряжения	R_1	R_2	
ИМБ-171А/1	—30	1	13	50	6	35	—	—	—
ИМБ-171А/1	—45	1	25	100	6	25	350	—	—
ИМБ-171А/2	—30	1	3	10	6	35	—	—	—
ИМБ-171А/2	—45	1	5	20	6	25	350	—	—
ИМБ-178А/1	70	1	20	70	6	15	—	—	3
ИМБ-178А/2	70	1	4	14	6	15	—	—	3
РБМ-171/1	—30	1	3	15	10	40	35	—	—
РБМ-171/1	—45	1	4	20	10	35	35	100	—
РБМ-171/2	—30	1	0,6	3	10	40	35	—	—
РБМ-171/2	—45	1	0,8	4	10	35	35	100	—
РБМ-177/1	70	1	3	15	10	35	390	—	8
РБМ 177/2	70	1	0,6	3	10	35	390	—	8
РБМ-178/1	70	1	1	5	10	90	75	—	16
РБМ-178/2	70	1	0,2	1	10	90	75	—	16
РБМ-271/1	—30	2	3	15	10	40	35	—	—
РБМ-271/1	—45	2	4	20	10	35	35	100	—
РБМ-271/2	—30	2	0,6	3	10	40	35	—	—
РБМ-271/2	—45	2	0,8	4	10	35	35	100	—
РБМ-277/1	70	2	3	15	10	35	390	—	8
РБМ-277/2	70	2	0,6	3	10	35	390	—	8
РБМ-278/1	70	2	1	5	10	90	75	—	16
РБМ-278/2	70	2	0,2	1	10	90	75	—	16

Примечания.

1. Потребление мощности цепей тока и напряжения реле типа ИМБ дано при $I_{ном}$ и 100 *в*, а реле РМБ — при 1,1 $I_{ном}$ и 110 *в*.

2. По данным испытаний угол максимальной чувствительности реле ИМБ-171А/1 и ИМБ-171А/2 равен не —30°, а —22°.

Цепи тока всех реле термически устойчивы до 1,1 $I_{ном}$. Цепи напряжения всех реле, кроме РБМ-178 и РБМ-278, термически устойчивы до 110 *в*. У реле РБМ-178 и РБМ-278 цепи напряжения допускают только кратковременную подачу напряжения (табл. XVII.5).

Осмотр и регулировка механической части реле

В дополнение к общим указаниям по внешнему осмотру и регулировке механической части реле производится следующее:

1) проверяется с помощью лупы и иглы состояние верхнего и нижнего подпятников и концов оси барабанчика;

2) проверяется ход барабанчика при полностью ослабленной пружине и снятой плате с неподвижными контактами и упорами; если имеет место затирание барабанчика о верхнюю кромку внутреннего сердечника, барабанчик следует поднять, перемещая вверх оба подпятника;

3) проверяется симметричность расположения пружины неподвижного контакта в пазу пластмассовой колодки;

4) проверяется, равен ли угол встречи (угол между осью планки подвижных контактов и плоскостью неподвижных) 50—60°;

5) осматриваются токоподводы реле; лента токоподвода должна иметь правильную форму без надломов; при полностью освобожденной пружине токоподвод не должен воздействовать на подвижную систему реле.

Проверка и регулировка электрических характеристик

Такая проверка производится в следующем объеме: *а*) определяют потребление реле; *б*) проверяют и устраняют самоход реле от тока и напряжения; *в*) проверяют зону действия, угол максимальной чувствительности и определяют однополярные зажимы реле. Кроме того, проверяют чувствительность реле, работу контактов и время действия реле.

Потребление реле измеряют вольтметрами и амперметрами при номинальном токе (для токовых обмоток) и номинальном напряжении (для обмоток напряжения) 100 *в*. Для измерения потребления тока используют амперметры со шкалой до 5 или до 1 *а* и вольтметры соответственно до 2 или до 10 *в*. Чтобы измерить потребление обмотки напряжения, используют вольтметр со шкалой до 100—150 *в* и амперметр со шкалой 0,5—1 *а*.

Полученные величины тока обмоток реле (произведения тока на напряжения) не должны отличаться больше чем на 10—12% от данных, приведенных в табл. XVII.5. Следует иметь в виду, что в этой таблице для реле типа РБМ приведены значения тока при 1,1 $I_{ном}$ и напряжении 110 *в*.

Самоход (появление вращающего момента любого знака при подаче на реле либо только тока, либо только напряжения) проверяют при полностью ослабленной пружине реле. Самоход по напряжению проверяют при подаче на реле напряжения 0—110 *в* и разомкнутой токовой обмотке. По току самоход проверяют при подаче тока от нуля до расчетного значения вторичного тока к.з. (кратковременно) при накоротко замкнутой обмотке напряжения.

Как правило, самоход устраняют поворотом стального сердечника, находящегося внутри барабанчика, вокруг своей оси. Срез на сердечнике по образующей, повернутый соответствующим образом, может компенсировать несимметрию магнитного потока, являющуюся причиной самохода. В крайнем случае самоход может быть устранен или уменьшен за счет незначительного сдвига полюсов магнитной системы, не имеющих катушек (системы напряжения).

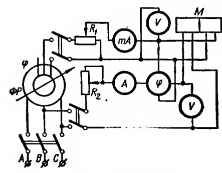


Рис. XVII.19. Схема проверки реле направления мощности.

Если полное устранение самохода невозможно, допускается оставление незначительного вращающего момента, вызывающего движение контактов на размыкание при рабочей затяжке пружины.

Для проверки зоны действия, угла максимальной чувствительности и определения однополярных зажимов реле собирается схема согласно приведенной на рис. XVII.19.

К реле подводятся номинальные напряжение и ток. Подключение производится с учетом обозначения (звездочкой) начала обмоток тока и напряжения. С помощью фазорегулятора ФР изменяют угол сдвига между током и напряжением реле от 0 до 360° и по фазометру отмечают углы, при которых происходит замыкание и размыкание контактов.

Затем строят упрощенную угловую характеристику реле: а) на миллиметровую бумагу в масштабе наносят вектор напряжения реле $U_р$; б) проводят окружность с центром в начале координат радиусом, равным вектору напряжения реле; в) за линию отсчета углов принимают вектор напряжения (рис. XVII.20), отсчет углов ведут по часовой стрелке; г) на окружности транспортиром отмечают точки, соответствующие замыканию и размыканию контактов реле; д) через эти точки проводят линию (нулевых моментов), делящую окружность на две равные части, и отмечают зону действия реле (часть окружности, соответствующую замкнутому состоянию контактов); е) через

центр окружности проводят линию, перпендикулярную проведенной выше, которая является линией максимальных моментов; ж) с помощью транспортира определяют угол между вектором напряжения реле и линией максимальных моментов — угол максимальной чувствительности реле. Отклонение угла максимальной чувствительности от номинальных данных допускается в пределах до 5°.

Однополярные зажимы реле определяют на основании тщательной проверки соответствия собранной схемы схеме на рис. XVII.19 в части подключения фазометра и реле, а также анализа угловой характеристики. Если схема выполнена без отступлений и угол максимальной чувствительности близок к паспортному значению, однополярные зажимы обозначены правильно.

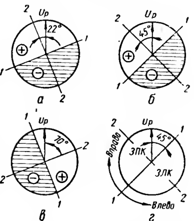


Рис. XVII.20. Угловые характеристики реле направления мощности:
а — реле типа ИМБ-171 без добавочного сопротивления; *б* — реле типа ИМБ-171 или РБМ-171 с добавочным сопротивлением; *в* — реле типа ИМБ-178; *г* — реле типа РМБ-271 (*1—1* — линия изменения знака моментов; *2—2* — линия максимальных моментов; незаштрихованная часть окружности — зона действия реле на отключение, заштрихованная — зона действия реле на заклинивание, ЗПК и ЗЛК — соответственно замыкание правого и левого контактов).

В случае необходимости фазометр в схеме на рис. XVII.19 может быть заменен однофазным лабораторным ваттметром класса 0,5 или 0,2. Для удобства отсчета углов (точнее, косинусов углов) при совпадении векторов тока и напряжения на ваттметре желательно установить 100 (или 50) делений (обычно это легко удается). Это позволяет определить косинусы углов путем деления показаний ваттметра на 100 (или 50).

Чувствительность реле проверяют при подключении по схеме, приведенной на рис. XVII.19. Она не должна превышать значений мощности срабатывания, указанных в табл. XVII.5.

С помощью фазорегулятора устанавливают угол максимальной чувствительности; по токовой обмотке реле пропускают номинальный ток $I_{р.ном}$. Плавно повышая напряжение, добиваются срабатывания реле.

Чувствительность реле, т. е. минимальная мощность срабатывания его:

$$P_{ср} = U_{ср} I_{р.\,ном} \ [ва], \qquad (XVII.7)$$

где $U_{ср}$ — напряжение срабатывания реле.

При отсутствии вольтметра на малые пределы измерения чувствительность допускается определять при токе, равном 20—40% $I_{ном}$. Одновременно определяют коэффициент возврата реле, который не должен быть меньше 0,9.

Чувствительность реле находят по углу затяжки моментной пружины. Нормальная заводская затяжка пружины соответствует углу 230°. Обычно этот угол колеблется в пределах 180—270°. Для реле с двумя н.о. контактами чувствительность проверяют для каждого контакта отдельно.

В некоторых случаях (для уточнения величины мертвой зоны защиты и др.) целесообразно снять зависимость напряжения срабатывания реле $U_{ср}$ от тока его $I_{р}$.

Работу контактов реле проверяют при подаче мощности срабатывания и при подаче и отключении обратной мощности. Схема проверки контактов реле при подаче мощности срабатывания такая же, как на рис. XVII.19; в случае необходимости из нее могут быть исключены фазорегулятор и фазометр.

Нагрузка контактов реле должна быть такой же, как и в схеме защиты. Контакты при включении реле толчком с мощностью от 1,2 до 100 $P_{ср}$ должны надежно замыкаться без искрения, вибрации и отбросов. Искрение контактов при отключении реле должно быть небольшим, не вызывающим подгорания контактов. Не допускается залипание контактов реле на упоре.

Включение толчком производится по три—пять раз при каждом значении мощности; ток доводится до 10 $I_{ном}$. Включать и отключать ток и напряжение следует одновременно.

Работу контактов реле при подаче и отключении обратной мощности проверяют, если отброс контактов может вызвать ложное действие защиты. На реле подают обратную (размыкающую контакты) мощность, равную 10, 30 и 100 $P_{ср}$, и сбрасывают ее резким одновременным снятием тока и напряжения. При этом не должно быть сильного отброса подвижной системы от упора и замыкания контактов. Если устранить замыкание контактов реле направления мощности при сбросе обратной мощности не удается, следует загрубить или заблокировать последующие реле в схеме защиты.

В некоторых случаях необходимо измерить время действия реле. Это можно осуществить миллисекундомером при нескольких значениях мощности, подводимой к реле (до 50—100 $P_{ср}$).

8. Блоки питания

Блоки питания предназначены для выполнения надежных и селективных схем релейной защиты на переменном токе (без аккумуляторных батарей).

Блок питания типа БП-1-57. Номинальное напряжение выпрямленного тока 220/110 *в*. Номинальный выпрямленный ток 0,5/1 *а*. Кратковременный выпрямленный ток 2,8/5,5 *а*. Подводимое напряжение 100 *в*. Подводимый ток в номинальном режиме до 5 *а*. Мощность выхода блока питания 550 *вт*. Наименьшая кратность тока к.з. 2, наибольшая — 25. Кратковременная мощность блока 850—900 *вт*. Точность поддержания напряжения выпрямленного тока при кратности тока к.з. 2—6 составляет от —15 до —40%, при 6—25 — от +10 до —15%.

Блок питания БП-10. Номинальное выпрямленное напряжение 110 *в*. Номинальный ток первичных обмоток промежуточного ТТ 8,65 *а*. Номинальное напряжение первичной обмотки промежуточного ТН 110/220 *в*.

При плавном изменении тока в токовой обмотке и разомкнутом выходе блока феррорезонанс в ТТ наступает при токах, равных токам уставок (с точностью $\pm 10\%$) — 5; 7,5; 10 *а*. При последовательном соединении обеих обмоток ток наступления феррорезонанса ТТ снижается вдвое.

Блок питания допускает протекание 15-кратного тока уставки в течение 3 *сек* при нагрузке 300 *ом*. Допускаемая длительная нагрузка должна быть такой, чтобы ток через каждый выпрямительный мостик не превышал 0,17 *а* (среднее значение).

Обмоточные данные промежуточного насыщающегося ТТ: число витков каждой первичной обмотки $w_1 = 45$, провод марки ПБД диаметром 1,68 *мм*, отводы от 23 до 30 витков; число витков вторичной обмотки $w_2 = 1860$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,35 *мм*, отводы от 580 и 1760 витков.

Обмоточные данные промежуточного трансформатора напряжения: число витков каждой половины первичной обмотки $w_1 = 830$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,23 *мм*; число витков вторичной обмотки 1000, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,31 *мм*, отводы от 900 и 950 витков.

Емкость конденсатора типа МБГП 4 *мкф*, номинальное напряжение 600 *в*.

Блок питания БПТ-100 (токовый). От блока может питаться релейная аппаратура с номинальным напряжением 110 *в* и потребляемой мощностью 240 *вт*.

Блоки БПТ-100 предназначены для работы с ТТ типа ТВ-35 и ТВД-35, встроенными в масляные выключатели типа ВМ-35. Подключают блок к отпайке ТТ 200/5 *а*.

Номинальный ток первичной обмотки блока 5 *а*. При сопротивлении нагрузки 50 *ом* среднее значение напряжения на выходе блока равно 98 ± 4 *в* при первичном токе его 7 *а*. Если нагрузка отсутствует, напряжение при том же токе не превышает 115 *в*.

Феррорезонанс в трансформаторе блока при отсутствии нагрузки наступает при плавном подведении тока 5,8 ± 0,3 *а*, при нагрузке 50 *ом* — при токе 6,4 *а*. Если ток включается толчком, феррорезонанс наступает при меньшем его значении.

Блок допускает протекание тока 75 *а* в течение 3 *сек*. В длительном режиме блок выдерживает протекание тока 5,5 *а* при отсутствии феррорезонанса и 3 *а* при наличии такового.

Обмоточные данные: число витков первичной обмотки промежуточного трансформатора $w_1 = 175$, провод марки ПБД диаметром 1,68 *мм*; число витков вторичной обмотки $w_2^{I} = 600$, $w_2^{II} = 350$, $w_2^{III} = 30$, $w_2^{IV} = 45$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 1,25 *мм*.

Емкость конденсаторов типа МБГО или МБГП 16 *мкф* (четыре банки по 4 *мкф*), номинальное напряжение 600 *в*.

Блок питания БПН-100 предназначен для включения на ТН. Номинальное первичное напряжение 110 *в*. Среднее значение выходного напряжения 93 ± 5 *в* при подведении к первичной обмотке напряжений 100, 105 или 110 *в* и установке штеккера на трансформаторе соответственно в гнезда 0,93; 0,88 и 0,84.

Расчетная нагрузка 80 *ом*. Допускается включение нагрузки 50 *ом* в течение 3 *сек* при выходном напряжении 110 *в*. Потребляемая мощность блока: при холостом ходе — 5 *ва*, при нагрузке 80 *ом* и уставке 0,84 — 165 и при уставке 1,1 — 240 *ва*.

Обмоточные данные первичной обмотки трансформатора блока: число витков $w_1 = 2 \times 425$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,64 *мм*. Обмоточные данные вторичной обмотки трансформатора: число витков: $w_2^{I} = w_2^{II} = 710$, отпайки от 490, 515 и 550 витков, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,74.

Блок питания БПТ-1000. Среднее значение выпрямленного напряжения на основном выходе блока при числе витков первичной обмотки 200 и токе в ней 10 *а*: без нагрузки не выше 145 *в*, при нагрузке 20 *ом* не ниже 90 *в*, при нагрузке 10 *ом* не ниже 80 *в*. При тех же условиях напряжение на дополнительном выходе соответственно равно 40 ± 3 *в*, 37 ± 3 *в*, 35 ± 3 *в*.

Допустимо длительный первичный ток при $w_1 = 200$ составляет при резонансе 8,5 *а*; если резонанс еще не наступил, может быть любой ток. На основном выходе допустимый ток 3 *а*, на дополнительном 1 *а*.

Блок выдерживает первичный ток (при $w_1 = 200$) 50 *а* в течение 5 *сек* при нагрузке 10 *ом*.

Токи феррорезонанса $I_ф$ при отсутствии нагрузки и различном числе витков w_1 составляют:

w_1	225	200	150	100	75	50
$I_ф$, *а*	3,7 ± 0,45	4,2 ± 0,5	5,6 ± 0,7	8,4 ± 1	11,2 ± 1,3	16,8 ± 2

Обмоточные данные трансформатора блока: первичная обмотка — $w_1 = 225$, отводы от 100, 150 и 200 витков, провод марки ПСД диаметром 2,44 *мм*; вторичные обмотки — $w_2 = 300$ витков, с отводом от 150 витков, провод марки ПСД диаметром 2,1 *мм*; $w_2^I = 60$ витков с отводами от 40 и 50 витков, провод марки ПСД диаметром 1,45 *мм*.

Обмоточные данные линейного дросселя: первичная обмотка — $w_1 = 160$ витков с ответвлениями от 40, 50, 60 и 70 витков, провод марки ПБД диаметром 1,68 *мм*; вторичная обмотка — $w_2 = 30$ витков с ответвлениями от 25 витков, провод марки ПБД диаметром 1,0 *мм*.

Конденсаторы типа МБГО-2-600 имеют емкость 56 *мкф* (14×4 *мкф*), номинальное напряжение 600 *в*.

Блок питания БПН-1000. Номинальное напряжение на входе блока 110, 220 и 380 *в*.

Напряжение на основном выходе блока (при симметричном питании): при отсутствии нагрузки — не выше 145 *в*, при нагрузке 20 *ом* — не ниже 90 и при нагрузке 10 *ом* — не ниже 80 *в*. Напряжение на дополнительном выходе соответственно 40 ± 3 *в*; 37 ± 3; 35 ± 3 *в*.

Потребление блока на фазу при номинальном напряжении: без нагрузки — не больше 25 *ва*; при нагрузке 20 *ом* — до 230; при нагрузке 10 *ом* — не больше 450 *ва*.

Включение нагрузки 10 *ом* при напряжении 110% $U_{ном}$ допускается на время не больше 5 *сек*. Длительно допустимый ток блока на основном выходе 4 *а*, на дополнительном 1 *а* на фазу.

Обмоточные данные трансформатора блока: первичная обмотка — $w_1^I = 250$ витков, $w_1^{II} = 250$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,74 *мм*; вторичная обмотка (основной выход) — $w_2 = 175$ витков с отводами от 125 и 150 витков, провод марки ПБД диаметром 1,45 *мм*; вторичные обмотки (дополнительные выходы) — $w_3 = 50$ витков, $w_4 = 50$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 1,35 *мм*.

Проверка блоков питания

В объем проверки блоков входит: осмотр и формовка селеновых выпрямителей (если они имеются), проверка изоляции цепей блока, определение электрических характеристик, проверка срабатывания защиты при питании от блока.

Блоки напряжения БПН. Соотношение между входным и выходным напряжением блока БПН определяют для всех отпаек промежуточного трансформатора по схеме, приведенной на рис. XVII.21. При сопротивлении нагрузки 80 *ом* и напряжении на ней 93 *в* напряжение на входе должно составлять 110; 105; 100 и 84 *в* для коэффициентов трансформации, равных соответственно 0,84; 0,88; 0,93 и 1,1.

Блоки БПН, включенные по трехфазной схеме, проверяют в режиме двухфазного к.з. согласно схеме на рис. XVII.22. Сопротивле-

ние на выходе блоков устанавливается соответствующим максимальной нагрузке на блоки при наиболее неблагоприятном с этой точки зрения режиме работы защиты.

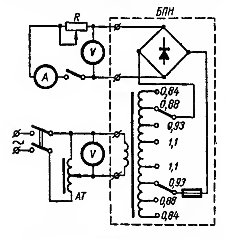


Рис. XVII.21. Схема проверки блока БПН-100.

Рис. XVII.22. Схема проверки блоков БПН в режиме двухфазного к. з.

На входе блоков БПН с помощью регулировочного АТ устанавливают напряжение 86% номинального, затем одновременно на всех блоках отпайки трансформаторов переставляют до тех пор, пока на выходе их напряжение не окажется равным или большим 80% номинального релейной аппаратуры. После установки необходимой отпайки измерения повторяют для режима двухфазного к.з. на двух других парах фаз.

Рис. XVII.23. Схема проверки блока БПТ-100.

Работу реле контроля исправности блока БПН проверяют при имитации всех видов повреждения, а именно: обрыв одной и двух фаз питания, перегорание предохранителей одного, двух и трех блоков. В заключение снимают характеристику намагничивания трансформатора — зависимость тока холостого хода от напряжения на входе.

Токовые блоки БПТ. Зависимость напряжения на выходе блока от вторичного тока защиты $U = f(I_2)$ опреде-

ляют согласно схеме на рис. XVII.23. В некоторых случаях, учитывая влияние ТТ, определяют зависимость $U = f(I_1)$, где I_1 — первичный ток защиты, или $U = f(I_2)$ при параллельном присоединении к источнику регулируемого напряжения вторичной обмотки ТТ.

Регулировать ток следует с помощью реостата R_1, который должен в несколько раз превышать входное сопротивление блока. На-

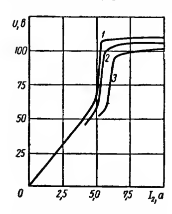


Рис. XVII.24. Зависимость $U = f(I_2)$ для блока БПТ-100.

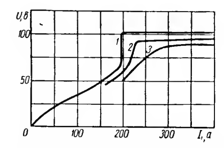


Рис. XVII.25. Зависимость $U = f(I_1)$ для блока БПТ-100 с ТТ типа ТВ-35, 200/5.

грузочное сопротивление R_2 должно соответствовать максимальной нагрузке блока.

Примерный вид зависимостей $U = f(I_2)$ и $U = f(I_1)$ для режимов холостого хода (кривая *1*), сопротивлений нагрузки 80 *ом* (кривая *2*) и 50 *ом* (кривая *3*) приведен на рис. XVII.24 и XVII.25. По кривой зависимости $U = f(I_1)$ или $U = f(I_2)$ определяют ток на входе, при котором возникает резонанс, что соответствует резкому скачкообразному возрастанию напряжения на выходе блока.

Для проверки срабатывания защиты при питании от блоков БПН и БПТ на их вход подают напряжение от регулируемого источника, а выход замыкают на все катушки реле и аппаратов, которые участвуют в работе при наиболее неблагоприятном режиме. Работу реле и аппаратов проверяют с учетом того, что длительное протекание тока по блоку недопустимо. Такая проверка производится отдельно для БПН и БПТ

Блок питания БП-10 проверяют в следующем объеме: а) определяют зависимость напряжения на выходе блока от тока на входе токового элемента его при холостом ходе и нагрузке; б) снимают характеристику намагничивания элемента напряжения блока (ТН); в) определяют зависимость напряжения на выходе блока от напряжения на входе ТН; г) проверяют максимальное напряжение на

выходе блока при нормальной работе его с током 8,7 *а* и напряжением 110 *в* (максимальное напряжение не должно превышать 150 *в*).

9. Зарядное устройство типа УЗ-400

Зарядное устройство типа УЗ-400 служит для заряда конденсаторов, предназначенных для питания отключающих катушек выключателей при аварийных режимах.

Технические данные устройства. Напряжение питания 110/220 *в*; $f = 50$ *гц*; напряжение заряда конденсаторов 385—400 *в*; время заряда конденсаторов до напряжения 320 *в*: при емкости 40 *мкф* — 0,28 *сек*, при 100 *мкф* — 0,7 *сек*; потребляемая мощность в нормальном режиме до 9 *ва*.

Данные отдельных элементов устройства приведены ниже.

1. Реле минимального напряжения типа ЭН-529/160: число витков нижней обмотки 1285, провод марки ПЭЛ диаметром 0,08 *мм*; число витков верхней обмотки 1885, провод марки ПШКД диаметром 0,15 *мм*; полное число витков 3170.

2. Трансформатор ТН: число витков каждой из первичных обмоток $w_1 = w_1' = 1000$, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,18 *мм*; число витков вторичной обмотки $w_2 = 3270$ с отводами 2970 и 3120 витков, провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,2.

3. Поляризованное реле типа РП-7: напряжение срабатывания 50% номинального; коэффициент возврата не меньше 0,25; междуконтактный зазор больше 0,4 *мм*; разрывная мощность контактов 40 *вт*; число витков первой обмотки $w = 4000$, сопротивление ее 600 *ом*, провод марки ПЭЛ диаметром 0,06 *мм*; число витков второй обмотки $w' = 25\,000$, сопротивление 8000 *ом*, провод марки ПЭЛ диаметром 0,06 *мм*; обе обмотки соединены последовательно.

4. Конденсатор типа МБГП-3-200-1-П: емкость 1 *мкф*, рабочее напряжение 200 *в*.

5. Сопротивление R_1 типа ВС-1-1-240 *ком*, напряжение 1 *вт*.

6. Сопротивление R_2 типа ПЭ-20-400 *ом*, II габарит.

В объем проверки зарядного устройства входит:

1) осмотр и проверка механической части реле;

2) проверка изоляции устройства;

3) проверка и настройка реле напряжения (РН) и поляризованного реле (ПР); напряжение срабатывания реле РН должно составлять 75—80% номинального, напряжение возврата — 90—92%;

4) снятие кривой намагничивания ТН;

5) определение зависимости напряжения на конденсаторной батарее от напряжения питания.

Для измерения напряжения на конденсаторной батарее или на

вторичной обмотке ТН следует пользоваться вольтметром с большим внутренним сопротивлением (1000 ÷ 2000 *ом/в*).

При проверках все требуемые плавные изменения напряжения, подводимого к устройству, можно производить с помощью регулировочного АТ типа ЛАТР.

10. Электромагнитные реле времени

Электромагнитные реле времени применяют в схемах релейной защиты и автоматики для создания выдержки времени.

Допустимые разбросы времени для часовых механизмов реле ЭВ-100 и ЭВ-200:

Максимальная выдержка времени, *сек*	1,3	3,5	9	20
Разброс времени, *сек* . . .	± 0,03	± 0,06	± 0,2	∓ 0,25

Реле времени с механизмом на 20 *сек* можно применять там, где ступень селективности позволяет иметь разброс ± 0,25 *сек*.

В программу проверки электромагнитного реле времени входит: внешний осмотр, проверка механической части, изоляции, напряжений срабатывания и возврата, проверка и регулировка времени срабатывания.

Внешний осмотр и проверка механической части реле времени серии ЭВ-100 и ЭВ-200

При внешнем осмотре и проверке механической части реле должно быть установлено следующее.

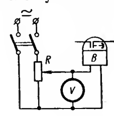


Рис. XVII.26. Схема проверки напряжений срабатывания и возврата реле времени.

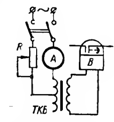


Рис. XVII.27. Схема проверки тока срабатывания и возврата реле времени типа ЭВ-200, включаемого через насыщающийся ТТ типа ТКБ-1

Плунжер электромагнита должен быть чист и хорошо отполирован. Возвратная пружина — иметь коническую форму, витки ее не должны ложиться друг на друга при втянутом плунжере. Плунжер

и возвратная пружина не должны иметь следов ржавчины. Люфт плунжера в латунной гильзе (поперечный) должен составлять 0,3—0,6 *мм*, люфт рычага плунжера в пластмассовой колодке — 1—1,5 *мм*. Убеждаются в том, что при многократном запуске (от руки) часового механизма не прослушиваются перебои и срывы в его работе; стрелка с подвижным контактом равномерно вращается вдоль всей шкалы; контактные пружины лежат в одной плоскости, перпендикулярной шкале; в момент замыкания оба неподвижных контакта соприкасаются с подвижным одновременно; прогиб их в месте касания с подвижным контактом составляет не меньше 0,7—1,0 *мм*; пружина подвижного переключающего контакта имеет прогиб в средней части при верхнем положении 0,5—1 и при нижнем — 1—2 *мм*; в среднем положении (в момент переключения) прогиба пружины не наблюдается.

Проверка напряжений срабатывания и возврата реле времени

Напряжение (иногда ток) срабатывания определяют как среднее десяти измерений при подаче на реле толчком напряжения или тока (рис. XVII.26 и XVII.27, где ТКБ — трансформатор катушечный быстронасыщающийся). При проверке находят зону разброса времени. Напряжение (ток) возврата проверяют при плавном его уменьшении.

Напряжение срабатывания реле типа ЭВ-100 и ЭВ-200 (за исключением ЭВ-217; ЭВ-218; ЭВ-227; ЭВ-228; ЭВ-237; ЭВ-238; ЭВ-247 и ЭВ-248) должно быть не выше 80% номинального, но очень часто четкое срабатывание их обеспечивается при напряжении 70% номинального. Срабатывание реле, указанных как исключение, происходит при напряжении 85% номинального. Напряжение возврата реле не должно быть меньше 10% номинального.

Проверка и регулировка времени срабатывания реле

Время срабатывания реле следует измерять не менее трех раз на каждой уставке для каждого контакта по одной из схем, приведенных на рис. XVII.30. Если имеется подозрение, что разброс реле превышает допустимые значения, то десятикратно проверяют работу реле на каждой уставке.

Разброс времени — разница между максимальным и минимальным временем срабатывания — не должен превышать значений, приведенных выше при подведении к катушке номинального напряжения.

Для изменения пределов регулировки шкалы реле необходимо вскрыть часовой механизм и изменить либо начальное натяжение пружины часового механизма, либо положение грузиков-балансиров

на коромысле анкерной скобы. Эти изменения должны быть надежно зафиксированы.

Работу реле на рабочей уставке проверяют следующим образом. Троекратно измеряют время срабатывания реле на каждом контакте. Электросекундомер отсоединяют и десятикратно опробуют реле. Если срывов и отказов в работе реле нет, вновь измеряют время на рабочей уставке и включают реле в работу.

Уставка по заводской шкале лишь приближенно соответствует фактическому времени действия реле, поэтому изменение ее без проверки времени действия электросекундомером в процессе эксплуатации не допускается. В отдельных случаях, если требуются частые изменения уставок реле, при лабораторной проверке изготовляют дополнительную, более точную, шкалу.

11. Промежуточные и сигнальные реле

Промежуточные реле в схемах релейной защиты и автоматики служат для размножения и усиления контактов; сигнальные реле — для того, чтобы можно было определить, от какой защиты отключился выключатель или какое устройство автоматики сработало после возврата всех реле в исходное положение.

В настоящее время в схемах релейной защиты и автоматики применяют промежуточные реле различных типов: ЭП-1; ЭП-100; РП-25; МКУ-48; РПТ-100; ЭП-41 и др. Сигнальные реле используют типа ЭС-21; ЭС-91; ЭС-92 и др.

В объем проверки промежуточных сигнальных реле входят внешний осмотр, проверка механической части, изоляции токоведущих частей, напряжения (тока) срабатывания и возврата реле, а также удерживания (при наличии соответствующих обмоток).

Если по местным условиям необходимо, проверяют время замедления на срабатывание и возврат, а также взаимодействие и надежность работы реле при пониженном напряжении оперативного тока в полной схеме защиты.

Проверка напряжения (тока) срабатывания, возврата и удерживания реле

Обязательной является проверка лишь напряжений (токов) срабатывания и удерживания, которые обычно не превышают 70% номинального напряжения реле. Снижение напряжения срабатывания достигается ослаблением противодействующей пружины или уменьшением начального зазора между якорем и сердечником реле. Нижним пределом напряжения срабатывания нужно считать 60%

номинального во избежание ложного срабатывания реле при частичных замыканиях на землю в цепях оперативного тока.

Ток срабатывания сигнальных реле не превышает 80% номинального. У реле типа ЭП-1 для обеспечения быстродействия ток срабатывания должен быть в два-три раза меньше номинального.

Напряжение и ток срабатывания реле постоянного тока проверяют по схемам, приведенным на рис. XVII.28 и XVII.29. Сопротивление потенциометра на рис. XVII.28 выбирают из расчета 1 *ом* на 1 *в* напряжения питания. Ток нагрузки, который должен выдерживать потенциометр:

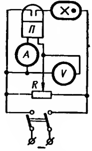


Рис. XVII.28. Схема проверки напряжения срабатывания промежуточного реле.

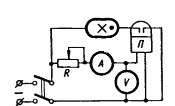


Рис. XVII.29. Схема проверки тока срабатывания промежуточного реле.

$$I = \frac{U_п}{R_р} [a]. \qquad \text{(XVII.8)}$$

где $U_п$ — напряжение питания, *в*;
$R_р$ — сопротивление реле, *ом*.

Сопротивление реостата в схеме на рис. XVII.29 определяют по формуле

$$R = (1{,}5 - 2) \frac{U_п}{I_{ср}}, \qquad \text{(XVII.9)}$$

где $I_{ср}$ — ток срабатывания реле, *а*. Реостат должен выдерживать ток не меньше (1,5—2) $I_{ср}$.

Измерение времени замедления срабатывания и возврата промежуточных реле

Время запаздывания реле измеряют по схемам, приведенным на рис. XVII.30 (с помощью электросекундомера *С*) и XVII. 31 (с помощью миллисекундомера *МС*). Регулировка времени запаздывания, если это необходимо, производится путем изменения соотношения

между активным и индуктивным сопротивлениями в цепи реле (сечение провода, зазор между якорем и сердечником и т. д.) и затяжки возвратной пружины.

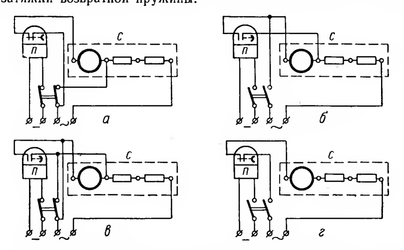


Рис. XVII.30. Схемы проверки времени замедления реле электрическим секундомером:

а — реле с и. о. контактами с выдержкой времени на размыкание (якорь подтянут); *б* — реле с н. о. контактами с выдержкой времени на замыкание; *в* — реле с н. з. контактами с выдержкой времени на замыкание (якорь подтянут); *г* — реле с и. з. контактами с выдержкой времени на размыкание.

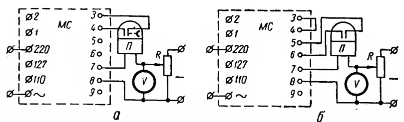


Рис. XVII.31. Схема проверки времени замедления реле миллисекундомером.

Определение однополярных выводов у реле с несколькими обмотками

Однополярные выводы реле определяют следующим образом. По схемам, приведенным на рис. XVII.28 и XVII.29, находят напряжение и токи срабатывания всех параллельных и последовательных обмоток реле. В одну из обмоток подают ток немного меньше,

чем ток срабатывания. Остальные обмотки получают ток (напряжение), которые плавно изменяются до срабатывания реле.

Если ток (напряжение) срабатывания уменьшился по сравнению с ранее измеренным, зажимы обеих обмоток, присоединенные к одному и тому же полюсу источника питания, являются однополярными, в противном случае эти зажимы — разнополярные.

Проверка взаимодействия реле в полной схеме при нормальном и пониженном напряжении

Для сигнальных и промежуточных реле с удерживающими обмотками следует обращать особое внимание на срабатывание всех последовательно включенных элементов при пониженном напряжении (65% номинального в цепях отключающих катушек и 80% в цепях промежуточных реле). Одним из наиболее эффективных способов обеспечения надежного срабатывания (и удерживания) всех последовательно включенных реле является шунтирование соответствующими сопротивлениями тех из них, которые имеют запас по току срабатывания (увеличение суммарного тока цепи).

12. Проверка взаимодействия реле и других элементов схемы защиты

Проверка взаимодействия элементов схемы позволяет убедиться в правильности выполнения монтажа оперативных цепей защиты и отсутствии отступлений от проекта и требований ПУЭ. Взаимодействие при новом включении проверяют при подаче в оперативные цепи напряжения, равного номинальному и $0{,}8U_{\text{ном}}$ (при повторных полных проверках). Величину поданного напряжения следует периодически контролировать и корректировать (при необходимости).

Взаимодействие реле в схеме проверяют при замыкании и размыкании от руки контактов реле, наблюдении за работой схемы и сопоставлении фактической последовательности работы реле с последовательностью, предусмотренной проектом. В сложных случаях перед проверкой целесообразно составлять подробную ее программу.

При проверке взаимодействия реле и других элементов схемы контролируют:

1) последовательность работы элементов схемы от пусковых до выходных реле;

2) наличие (или отсутствие) выдержки времени при действии на отключение или включение выключателя;

3) взаимодействие реле при имитации всех возможных видов к. з. и перехода одного вида короткого замыкания в другой;

4) действие блокировок;

5) переключеиия в цепях тока и иапряжения;

6) работу схемы при всех возможиых положениях рубильииков, переключателей и других коммутациоииых аппаратов, измеияющих схему, выдержку времеии и т. п.;

7) отсутствие обходных цепей в схеме защиты иа панели при имитации перегорания предохранителей;

8) надежиость одиовремеииого отключеиия или включеиия нескольких выключателей, если это предусмотреио проектом.

13. Методы дополнительной проверки правильности сборки схемы токовых цепей защит

В сложиых защитах при иаличии значительного числа магиитных связей в токовых цепях (ТТ, быстронасыщающихся, выравнивающих, разделительиых траисформаторов и др.) достаточно высока вероятность того, что все ошибки монтажа будут выявлены при прозвонке.

Рассматриваемые ниже методы позволяют выявить отдельиые ошибки в схемах до включеиия оборудования в работу, а также сократить время, требуемое для окончательиой проверки схемы при рабочих режимах. Такая проверка, как показала практика, весьма целесообразна и должиа предшествовать испытаиию защиты первичиым током. Схема токовых цепей защиты перед проверкой должна быть полиостью собраиа.

Максимальные токовые защиты и токовые отсечки

Правильность сборки схемы этих защит может быть проверена при пропускании однофазного тока от нагрузочного устройства через первичные обмотки ТТ. При этом во вторичиых токовых цепях иепосредственно у реле измеряют и сравнивают между собой токи в фазовых и нулевых проводах. Если величина этих токов соответствует расчетной, схема токовых цепей защиты собрана правильно.

В качестве примера на рис. XVII.32 приведены схемы проверки максимальных защит при соединении их токовых цепей в трехфазиую и неполную звезду и на разность токов двух фаз. Там же указаиы соотношения между токами в фазах при отсутствии ошибок и дефектов в схеме соедииений (НУ — нагрузочное устройство).

Одновремеино может быть проверена правильность обозначеиия фаз на реле. Для этого выводы вторичных обмоток ТТ на всех фазах, кроме проверяемой, закорачивают и по показаниям амперметров, включеиных непосредственно у реле (или с помощью токоизмерительных клещей), определяют правильность обозначений и вносят необходимые коррективы.

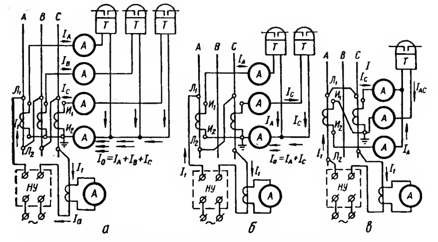


Рис. XVII.32. Схемы проверки защиты первичным однофазным током при таких соединениях вторичных обмоток ТТ:

а — соединение в звезду $\left(I_A = I_B = I_C = \frac{I_1}{K_{TT}}\,;\; I_0 = \frac{3I_1}{K_{TT}}\right)$; *б* — соединение в неполную звезду $\left(I_A = I_C = \frac{I_1}{K_{TT}}\,;\; I_0 = \frac{2I_1}{K_{TT}}\right)$; *в* — соединение на разность токов двух фаз $\left(I_A = I_C = \frac{I_1}{K_{TT}}\,;\; I_{AC} = I_p = \frac{2I_1}{K_{TT}}\right)$.

Дифференциальные защиты, использующие трансформаторы с одинаковыми коэффициентами трансформации (защиты генераторов, двигателей, линий)

Правильность сборки схемы токовых цепей может быть проверена путем пропускания тока, равного 20—40% номинального, от нагрузочного устройства по первичным цепям двух фаз (рис. XVII.33). При этом измеряют токи в цепях циркуляции и в цепях реле дифференциальной защиты РД при проведении опыта для всех трех пар фаз (*AB*, *BC*, *CA*).

У генераторов и двигателей для увеличения токов обмотки статора следует шунтировать. Если обмотки статора не шунтируют, необходимо закоротить обмотку ротора во избежание появления на ее выводах высокого напряжения при проведении опыта и, чтобы предотвратить перегрев ротора, ограничить длительность отсчета показаний приборов. Эту проверку можно совместить с измерением сверхпереходных реактансов синхронных генераторов и двигателей (см. гл. VII).

При наличии достаточно мощного источника НН ток I, протекающий по первичным цепям, может быть определен по следующим формулам: для генераторов и двигателей

$$I = \frac{U_{НН} I_{ном}}{X_2 U_{ном}} \sqrt{3}, \quad (XVII.10)$$

для линий

$$I = \frac{U_{НН}}{2 Z_{л.\,о} l}, \quad (XVII.11)$$

где $U_{НН}$ — напряжение вспомогательного источника (обычно трансформатора собственных нужд); X_2 — реактивное сопротивление обратной последовательности; $Z_{л.\,о}$ — полное сопротивление 1 *км* линии, *ом*; l — длина линии, *км*.

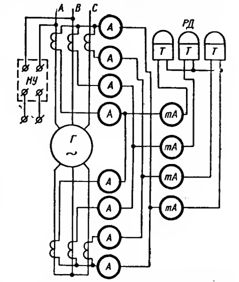


Рис. XVII.33. Схема проверки цепей дифференциальной защиты генератора первичным током.

Такую же проверку можно осуществить при одновременной подаче трех фаз, если это возможно. При этом средние значения тока находят из следующих выражений: для генераторов и двигателей

$$I = \frac{U_{НН} I_{ном}}{X_2 U_{ном}}; \quad (XVII.12)$$

для линий

$$I = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} Z_{л\,о} l}, \quad (XVII.13)$$

где $U_{НН}$ — подводимое линейное напряжение.

Дифференциальная защита трансформаторов

Метод импульсов постоянного тока. Собирается схема согласно рис. XVII.34. На стороне НН трансформатора устанавливают трехфазную перемычку, а со стороны ВН поочередно в каждые две фазы (*AB*, *BC*, *CA*) подают импульсы постоянного тока. С помощью миллиамперметра магнитоэлектрической системы по величине и знаку отклонения стрелки при включении его поочередно в цепь

фаз каждой группы ТТ проверяют правильность выполнения схемы дифференциальной защиты. Вторичные цепи каждой группы ТТ при проверке должны быть закорочены и отделены, как указано на рис. XVII.34.

Питание от постороннего источника. Трехфазную закорачивающую перемычку устанавливают со стороны НН, а питание подают со стороны ВН. При этом обязательна одновременная подача напряжения трех фаз.

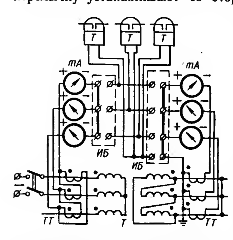


Рис. XVII.34. Схема проверки дифференциальной защиты трансформатора импульсами постоянного тока (ИБ — испытательный блок).

Величина тока, протекающего по обмоткам трансформатора со стороны питания, определяется как

$$I = \frac{U_{\text{НН}} I_{\text{ном}}}{e_{\text{к}} U_{\text{ном}}}, \quad \text{(XVII.14)}$$

где $I_{\text{ном}}$ и $U_{\text{ном}}$ — номинальные ток и напряжение той обмотки трансформатора, в которую подается испытательное напряжение $U_{\text{НН}}$; $e_{\text{к}}$ — напряжение короткого замыкания трансформатора в относительных единицах.

После установления тока в обмотках трансформатора и цепях дифференциальной защиты проверяют правильность сборки схемы при измерении тока в плечах и в реле, а также при снятии векторной диаграммы токов.

14. Проверка защит

Проверка защит первичным и вторичным током от постороннего источника

Для максимальных токовых защит и токовых отсечек, а также для дифференциальных защит отходящих линий двигателей и трансформаторов эта проверка является окончательной (за исключением отстройки, в случае необходимости, от броска пускового или намагничивающего тока); после нее никакие работы в цепях защиты не допускаются, и защита может включаться на отключение. Этой проверке могут быть подвергнуты также защиты генератора, если проведение испытаний перед первым включением недопустимо или неэкономично.

Чтобы не собирать дважды громоздкую схему проверки первичным током срабатывания защит, целесообразно проводить ее непосредственно вслед за проверкой правильности сборки схемы токовых цепей.

Перед проверкой защиты первичным током восстанавливают полностью всю схему защиты и включают выключатели, на которые действует защита. От нагрузочного устройства подают ток в первичные обмотки ТТ, питающие защиту; его увеличивают до момента

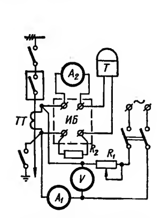


Рис. XVII.35. Схема проверки срабатывания реле защиты вторичным током.

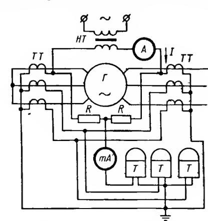


Рис. XVII.36. Схема проверки тока небаланса дифференциальной защиты генератора (двигателя) вторичным током.

срабатывания защиты на отключение выключателя. Первичный ток подают поочередно на каждый ТТ или на два-три последовательно включенных трансформатора тока в зависимости от схемы токовых цепей и защиты.

Если мощность НУ недостаточна для получения тока срабатывания, защита может быть испытана вторичным током согласно схеме на рис. XVII.35. Такая схема позволяет учесть погрешность ТТ за счет намагничивания его сердечника при протекании тока срабатывания.

Для определения первичного тока срабатывания защиты при использовании описанного выше метода суммарный ток, протекающий от НУ при срабатывании, следует умножить на коэффициент трансформации ТТ.

Чтобы повысить точность опыта, в цепь реле может быть включено активное сопротивление R_2, равное сопротивлению вторичной

обмотки ТТ. При пользовании этим методом без разделительного нагрузочного трансформатора заземления вторичных обмоток ТТ на время опыта необходимо снять.

Метод измерения установившихся токов небаланса. Для дифференциальных защит генераторов, двигателей и линий при испытании их вторичным током собирают схему, согласно приведенной на рис. XVII.36. Обычно нагрузочный трансформатор НТ расположен вблизи одного из ТТ и связь его с другим трансформатором осуществляется по первичным проводам. Подключение следует производить непосредственно к выводам вторичных обмоток ТТ.

Этот метод позволяет определить ток небаланса при кратности вторичного тока, равной кратности при к. з. в максимальном режиме.

Величину вторичного тока измеряют амперметром, включенным в цепь НТ, а тока небаланса — миллиамперметром (с внутренним сопротивлением 5—10 *ом*), включенным в цепь реле. Измерения производят последовательно для трех фаз.

Если в цепь циркуляции включены сопротивления R, равные полному или активному сопротивлению вторичной обмотки ТТ, повышается точность определения тока небаланса. Когда достаточно, как это чаще всего и бывает, оценить только величину токов небаланса (с точностью до 50%), сопротивления R можно не включать.

Измеренная величина тока небаланса соответствует установившемуся режиму к. з. Следует иметь в виду, что в переходном режиме броски тока небаланса могут во много раз превышать измеренные величины.

Проверка защит первичным током при первом включении защищаемого оборудования

Защиту синхронных генераторов проверяют при пониженной скорости вращения в процессе прогрева паровой турбины для ускорения испытательных работ.

Возбуждение при пониженной скорости может быть осуществлено либо от постороннего источника постоянного тока (резервного возбудителя и т. п.), либо от собственного возбудителя с помощью устройств компаундирования (рис. XVII.37).

При проверке защит необходимо следить за тем, чтобы ток компаундирования не превышал допустимого, а при однофазной схеме был на 25% ниже допустимого. Закорачивающую перемычку устанавливают вне зоны дифференциальной защиты.

При испытании необходимо принять меры, предотвращающие отключение выключателя, расположенного между перемычкой и генератором, а также включение противопожарного устройства. Ток к. з. должен быть достаточным для проведения измерений. При

проверке защит снимают векторные диаграммы, определяют величину тока в плечах защиты и т. п.

Увеличивая ток к. з., доводят максимальную токовую защиту до срабатывания и выполняют при этом необходимые измерения. Аналогично проверяют защиту от перегрузки и действие всех токовых реле блокировок.

При номинальной скорости генератора измеряют ток (напряжение) небаланса дифференциальной защиты (продольной и поперечной) с помощью приборов, оказывающих незначительное влияние на измеряемую величину (амперметр с малым внутренним сопротивлением 5—10 *ом*, вольтметр с большим сопротивлением). Затем токовые цепи одной стороны продольной дифференциальной защиты отключают и закорачивают, защиту проверяют на срабатывание; аналогично поступают с токовыми цепями другой стороны.

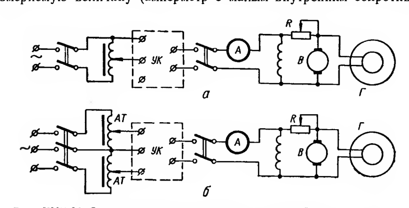


Рис. XVII.37. Схемы возбуждения генератора от устройства компаундирования:
а — при однофазном питании; *б* — при трехфазном питании.

Ток небаланса поперечной дифференциальной защиты генератора измеряют дополнительно при испытании витковой изоляции статорной обмотки генератора в режиме холостого хода. Ток срабатывания поперечной дифференциальной защиты может быть проверен в режиме трехфазного к. з. при «перевернутой» ветви одной из фаз. Если такая проверка невозможна, ток срабатывания определяют при испытании защиты вторичным током.

Дифференциальную защиту, а также токовую отсечку (малых генераторов) проверяют при включении генераторов на параллельную работу методом самосинхронизации. При этом контакты реле должны оставаться неподвижными.

Дифференциальная защита трансформаторов при включении их толчком. Отстройку реле дифференциальной защиты трансформатора от бросков тока намагничивания проверяют при пятикратном включении трансформатора толчком на номинальное или повышенное (на 5%) напряжение сети. Контакты реле при удовлетворительной отстройке должны оставаться неподвижными, иначе ток срабатывания защиты следует увеличить, если это позволят условия чувствительности.

Токовые отсечки трансформаторов и электродвигателей. Отстройку токовых отсечек от бросков токов намагничивания трансформаторов и пусковых токов электродвигателей проверяют при пятикратном включении толчком трансформатора или двигателя, наблюдая за поведением реле. Контакты реле при включениях, так же как и в предыдущих случаях, должны оставаться неподвижными. Напряжение питания желательно повысить на 5% сверх номинального.

Проверка защиты от замыкания на землю с трансформатором нулевой последовательности (ТНП)

ТНП без подмагничивания (рис. XVII.38). Через ТНП пропускают провод, в который от НУ подают ток, плавно увеличиваемый до срабатывания защиты. Состояние изоляции кабельной воронки от заземленных конструкций проверяют путем кратковременного отсоединения заземляющего провода во время проверки тока срабатывания защиты. Если это не отражается на величине тока срабатывания, значит изоляция воронки не нарушена.

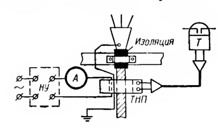


Рис. XVII.38. Схема проверки защиты от замыкания на землю.

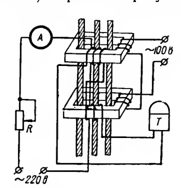


Рис. XVII.39. Схема проверки защиты с подмагничиваемым ТНП.

ТНП с подмагничиванием. Состояние изоляции кабельной воронки определяют при пропускании по заземляющему проводу тока, равного примерно 50*а*; нагрузочное устройство включают

между землей и отсоедииеииым от иее заземляющим проводом. Ток небалаиса во вторичиой обмотке ТНП не должеи превышать 2—4% тока срабатывания реле как при отключениых, так и при включеииых обмотках подмагничиваиия.

Ток срабатываиия защиты с ТНП определяют при пропускаиии проводиика через ТНП и плавном увеличеиии тока в нем (рис. XVII.39). Схема защиты должна быть полиостью собраиной, провод, заземляющий кабель, присоедииен к земле.

Работу земляиой защиты можио проверить при искусствеииом замыкаиии на землю одной фазы работающего оборудования (геиератора или двигателя) через резервиый выключатель. Замыкание на землю создают как в зоне защиты, так и вие ее. В первом случае проверяют срабатывание защиты, во втором — убеждаются в иеподвижности коитактов реле.

ГЛАВА XVIII

УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

1. Автоматическое регулирование возбуждения СМ

Устройства автоматического регулироваиия возбуждения (АРВ) сиихроиных машин предназначены: а) для увеличеиия тока возбуждения СМ до потолочиого (иаибольшего) зиачеиия при всех аварийных режимах в электрической системе, сопровождающихся сиижением иапряжеиия; б) для поддержаиия иапряжеиия по задаиному закону при иормальиой работе СМ; в) для устойчивого распределеиия реактивной иагрузки между параллельио работающими машинами.

Согласио ПУЭ, III-3-40, сиихроиные геиераторы и компеисаторы кроме устройств АРВ должны быть оборудоваиы быстродействующими устройствами релейиой форсировки возбуждеиия (УБВ). Для машин мощиостью меньше 2500 *квт*, за исключеиием электростанций, работающих изолировано или в эиергосистемах иебольшой мощиости, допускается примеиять только устройства УБВ.

Релейная форсировка

Типовая схема устройства релейиой форсировки возбуждения приведеиа иа рис. XVIII.1.

Катушки реле напряжения 1Н и 2Н (типа ЭН-528/160) включают на разные фазы низковольтного генератора или ТН (защиты, измереиия либо электромагнитного корректора). Нормальио открытые контакты промежуточиых реле 1П и 2П включают последовательно друг с другом и катушкой контактора *К*, закорачивающего шуитовой реостат при форсировке. Благодаря этому предотвращается ложное срабатывание устройства при перегорании предохраиителя в цепи одного из ТН (ПУЭ, III-3-42).

В объем наладки устройства релейной форсировки возбуждеиия входят следующие операции: а) проверка схемы коммутации; б) испытание изоляции реле и проводок; в) проверка реле и контактора; г) настройка реле напряжеиия; д) опробование устройства при работе геиератора вхолостую.

Уставки реле напряжения устройства релейной форсировки возбуждения рассчитываются по формуле

$$U_{ср} = \frac{0{,}85 U_{ном} K_{сх}}{K_{ТН}} \quad [в], \qquad (XVIII.1)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение синхронного генератора или компенсатора, *в*; $K_{сх}$ — коэффициент схемы (при включении обмоток

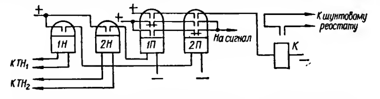


Рис. XVIII.1. Типовая схема устройства релейной форсировки возбуждения.

ТН по схеме звезда — звезда $K_{сх} = 1$, при включении обмоток по схеме треугольник — звезда $K_{сх} = 1{,}73$); $K_{ТН}$ — коэффициент трансформации ТН.

2. Электромеханические (угольные) АРВ

Из находивших широкое распространение в прошлом электромеханических регуляторов возбуждения реостатных (ВВС, СН-91), вибрационных (типа Тиррилль и др.) и угольных последние до настоящего времени выпускаются отечественной промышленностью и применяются на небольших машинах переменного и постоянного тока.

Принцип действия угольных АРВ заключается в том, что столбик, состоящий из угольных шайб, сжимается и разжимается под действием сердечника электромагнита, изменяя при этом свое сопротивление и, тем самым, ток в обмотке возбуждения (рис. XVIII.2).

В испытательно-наладочные работы по угольным автоматическим регуляторам возбуждения входит:

1) проверка правильности выбора регулятора;

2) внешний осмотр и проверка механической части регулятора;

3) проверка схемы внутренних и внешних соединений регулятора (см. гл. III);

4) испытание изоляции регулятора и проводок (см. гл. III);

5) проверка электрических характеристик регулятора и вспомогательных элементов;

6) испытание автоматического регулятора возбуждения на работающей электрической машине.

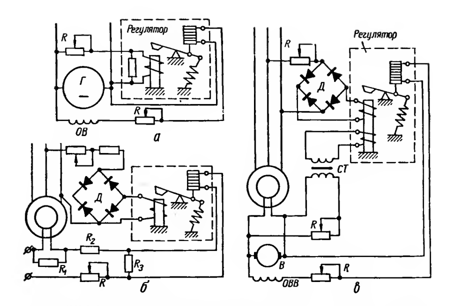


Рис. XVIII.2. Принципиальные схемы включения угольного регулятора возбуждения:

а — генератора постоянного тока с шунтовым возбуждением; *б* — синхронного генератора небольшой мощности с независимым возбуждением; *в* — синхронного генератора с шунтовым возбудителем (стабилизирующий трансформатор СТ предназначен для повышения устойчивости процесса регулирования).

Проверка правильности выбора автоматического регулятора

Для генераторов постоянного тока с шунтовым или смешанным возбуждением наибольшее и наименьшее значения сопротивления угольного реостата регулятора определяется из выражений

$$R_{\text{уг. макс}} = \frac{U_{\text{в. ном}}}{I_{\text{в. мин}}} - R_{\text{в. х}} \ [\textit{ом}]; \qquad \text{(XVIII.2)}$$

$$R_{\text{уг. мин}} = \frac{U_{\text{в. ном}}}{I_{\text{в. макс}}} - R_{\text{в. г}} \ [\textit{ом}], \qquad \text{(XVIII.3)}$$

где $U_{\text{в. ном}}$ — номинальное напряжения генератора, *в*; $I_{\text{в. мин}}$ и $I_{\text{в. макс}}$— минимальный и максимальный токи возбуждения, соответствующие предельным режимам работы генератора при номинальном напряжении, *а*; $R_{\text{в. х}}$ и $R_{\text{в. г}}$ — омическое сопротивление обмотки возбуждения, последовательно с которой включается угольный реостат регулятора соответственно в холодном и горячем состоянии, *ом*.

Максимальная мощность, рассеиваемая в угольном реостате:

$$R_{\text{уг. макс}} = \frac{U^2_{\text{в. ном}}}{4R_{\text{в. х}}} \, [вт]. \qquad \text{(XVIII.4)}$$

Для генераторов переменного тока, у которых напряжение на выводах возбудителя не остается постоянным по мере изменения нагрузки на генераторе, выражения (XVIII.2) и (XVIII.3) приобретают вид:

$$R_{\text{уг. макс}} = \frac{U_{\text{в. мин}}}{I_{\text{в. мин}}} - R_{\text{в. х}} \; [ом]; \qquad \text{(XVIII.5)}$$

$$R_{\text{уг. мин}} = \frac{U_{\text{в. макс}}}{I_{\text{в. макс}}} - R_{\text{в. г}} \; [ом], \qquad \text{(XVIII.6)}$$

где $U_{\text{в. мин}}$ и $U_{\text{в. макс}}$ — соответственно минимальное и максимальное напряжение на выводах возбудителя, *в*.

В этом случае максимальная мощность

$$R_{\text{уг. макс}} = \left(\frac{U_{\text{в. макс}}}{I_{\text{в. макс}}} - R_{\text{в. х}}\right) I^2_{\text{в. макс}} \; [вт]. \qquad \text{(XVIII.7)}$$

Внешний осмотр и проверка механической части регулятора

При осмотре регулятора следует обращать внимание на то, чтобы угольные столбики не имели повреждений и были бы приблизительно одинаковыми по высоте (если их несколько), чтобы имело место равномерное сжатие отдельных угольных столбиков (при отпущенном якоре угольные диски должны быть значительно сжаты — с силой около 1 *кг*, а при подтянутом до отказа якоре — расслаблены), чтобы якорь не касался магнитопровода, воздушные зазоры были равны друг другу и в регуляторе не было посторонних предметов, пыли и грязи.

Проверка электрических характеристик регулятора и вспомогательных элементов

Проверка электрических характеристик регулятора и вспомогательных элементов производится обычно в таком объеме:

1) измеряют омические сопротивления катушек электромагнита, обмоток стабилизирующего трансформатора, угольных столбиков, добавочных сопротивлений, установочного реостата;

2) снимают вольт-амперные характеристики электромагнита, стабилизирующего трансформатора;

3) проверяют селеновые выпрямители (см. гл. XIV);

4) определяют нечувствительность регулятора;

5) настраивают токовую стабилизацию.

Для проверки нечувствительности регулятора собирают схему, изображенную на рис. XVIII.3. С помощью регулировочного АТ плавно изменяют напряжение, подводимое к катушке электромагнита регулятора от нуля до максимального, при котором угольный столбик полностью сжат, а затем обратно от максимального

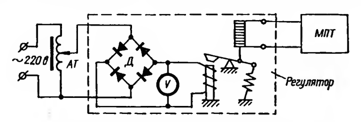


Рис. XVIII.3. Схема для определения нечувствительности регулятора.

значения до нуля. При нескольких значениях этого напряжения с помощью моста постоянного тока (МПТ) измеряют сопротивление угольного столбика. По полученным данным строят кривую зависимости сопротивления угольного столбика $R_{уг}$ от напряжения на электромагните U (рис. XVIII.4). Максимальная абсолютная величина нечувствительности обозначена $\Delta R_{уг}$.

Относительная нечувствительность определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{уг}}{R_{уг.\,ср}} 100 \ [\%], \qquad \text{(XVIII.8)}$$

где $R_{уг.\,ср}$ среднее значение сопротивления угольного столбика,

$$R_{уг.\,ср} = \frac{R_{уг.\,макс} + R_{уг.\,мин}}{2}. \qquad \text{(XVIII.9)}$$

Определенную по формуле (XVIII.8) величину относительной нечувствительности сравнивают с заводскими данными. При необходимости устраняют причины повышенных затираний подвижных деталей регулятора.

До определения нечувствительности необходимо произвести «тренаж» регулятора, т. е. следует многократно повышать и понижать напряжение на катушке электромагнита, добиваясь полного отклонения его якоря.

Величина сопротивления токовой стабилизации, служащей для обеспечения устойчивого распределения реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами (рис. XVIII.5), определяется по формуле

$$R_{ст} = \frac{K_{ТТ} U_{ном} K_{ст}}{K_{ТН} I_{ном} \sin\varphi \, 100} \, [ом], \qquad (XVIII.10)$$

где $K_{ТТ}$ и $K_{ТН}$ — коэффициенты трансформации соответственно ТТ и ТН; $U_{ном}$ и $I_{ном}$ — номинальные соответственно напряжение и ток синхронного генератора; $K_{ст}$ — коэффициент статизма, принимаемый обычно равным 4—5%; $\sin\varphi$ — соответствует номинальному коэффициенту мощности $\cos\varphi_{ном}$ генератора.

Рассчитанное согласно выражению (XVIII.10) сопротивление устанавливается в цепи токовой стабилизации. Окончательная подгонка его производится при проверке коэффициента статизма всей системы автоматического регулирования.

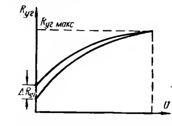


Рис. XVIII.4. Кривые зависимости сопротивления угольного столбика от напряжения на обмотке электромагнита.

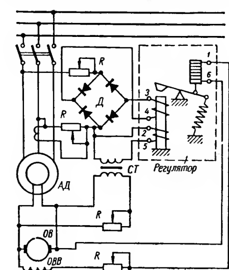


Рис. XVIII.5. Принципиальная схема включения угольного регулятора возбуждения, снабженного токовой стабилизацией и стабилизирующим трансформатором.

Испытание автоматического регулятора возбуждения на работающем генераторе

В объем испытания входит: а) проверка устойчивости работы автоматического регулятора и поведения его в переходном режиме; б) определение коэффициента статизма; в) определение пределов регулирования напряжения.

Устойчивость работы регулятора возбуждения предварительно проверяется при работе генератора вхолостую. Вывод из установившегося состояния осуществляется либо отключением и последующим включением регулятора, либо резким поворотом рукоятки установочного реостата. При возникновении незатухающих колебаний напряжения следует поменять местами выводы одной из обмоток стабилизирующего трансформатора или уменьшить добавочное сопротивление в первичной цепи его.

Работу автоматического регулятора принято считать удовлетворительной, если переход к новому установившемуся режиму происходит после нескольких колебаний (не более 10) стрелки вольтметра генератора.

Еще одним существенным критерием поведения регулятора при переходном режиме является максимальная величина повышения напряжения. Уменьшить «бросок» напряжения можно при увеличении сопротивления в цепи стабилизирующего трансформатора или при его отключении.

Окончательная проверка поведения генератора с автоматическим регулятором возбуждения в переходном режиме производится при сбросе нагрузки, близкой к номинальной. При этом опыте определяется также коэффициент статизма

$$K_{ст} = \frac{U_x - U_1}{U_x} \cdot \frac{I_{ном}}{I_1} 100\,[\%], \qquad \text{(XVIII.11)}$$

где U_1 и U_x — напряжение генератора соответственно перед сбросом нагрузки и после сброса ее (при установившемся холостом ходе); I_1 — ток генератора перед сбросом нагрузки; $I_{ном}$ — номинальный ток генератора.

Пределы регулирования напряжения определяют при работе генератора вхолостую и перемещении рукоятки установочного реостата сначала в одно, а затем в другое крайнее положение и измерении напряжения на выводах генератора. Обычно пределы регулирования равны ± 5 или $\pm 10\%$.

3. Устройства компаундирования и электромагнитные корректоры напряжения

Большинство синхронных генераторов, установленных на электростанциях, снабжено автоматическими регуляторами возбуждения, выполненными в виде устройств компаундирования (УК) с электромагнитным корректором (ЭМК). Эти устройства отличаются высокой надежностью вследствие отсутствия в них подвижных частей и контактов, быстродействием и чувствительностью.

Технические данные и принципиальные схемы некоторых устройств компаундирования приведены ниже.

АРВ типа ЭПА-305 (рис. XVIII.6) включает устройство компаундирования, односистемный корректор напряжения типа БНК-305 и релейную форсировку (на схеме не показана).

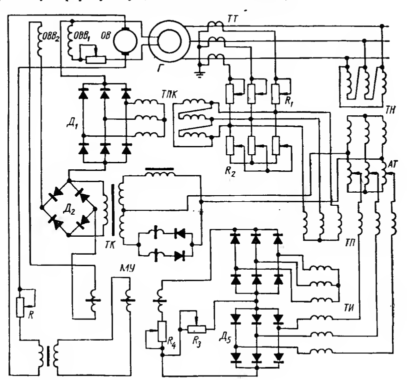


Рис. XVIII.6. Принципиальная схема устройства компаундирования с односистемным корректором типа ЭПА-305:

ТПК — трансформатор компаундирования; *ТП* — трансформатор промежуточный; *ТИ* — трансформатор измерительный; *ТК* — выходной трансформатор корректора

Область применения — турбогенераторы мощностью 2,5—100 *мвт* и синхронные компенсаторы мощностью до 15 *мва*.

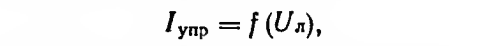
Корректор можно включать как на основную, так и на дополнительную обмотку возбуждения возбудителя (ОВВ). Напряжение питания корректора 173 *в*. Минимальный ток выхода корректора 0,05 *а*, максимальный — 8 *а* при сопротивлении обмотки возбуждения ОВ, равной 8 *ом*, 5 *а* при 15 *ом*, 4 *а* при 30 *ом* и 3 *а* при 50 *ом*. Мак-

симальный рабочий ток корректора соответственно равен 4; 2,5 *а*; 1,5 и 1 *а*. Точность регулирования составляет $\pm 0{,}5\%$ от величины поддерживаемого напряжения при неизменной частоте. Статизм корректора можно регулировать до 5%.

Характеристика корректора

$$I_{\text{кор}} = f(U_л),$$

где $U_л$ — линейное напряжение, при сопротивлении обмотки возбуждения 8 *ом* и среднем положении установочного реостата приведена на рис. XVIII.7. Пунктиром указаны характеристики при крайних положениях установочного реостата. На рис. XVIII.8 изображена характеристика измерительного трансформатора ТИ:



$$I_{\text{упр}} = f(U_л),$$

где $I_{\text{упр}}$ — ток управляющей обмотки МУ.

Рис. XVIII.7. Характеристики корректора БКН-305.

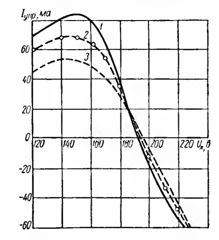


Рис. XVIII.8. Характеристики измерительного трансформатора устройства типа ЭПА-305:
1 — $R_4 = 0$; *2* — $R_4 = 50$ *ом*; *3* — $R_4 = 100$ *ом*.

АРВ типа ЭПА-151 включает в себя устройство компаундирования, двухсистемный корректор напряжения и релейную форсировку (рис. XVIII.9). Область применения — турбогенераторы мощностью 150 *мвт* и синхронные компенсаторы мощностью до 37,5 *мва*. Кор-

ректор напряжения включается на дополнительные обмотки возбуждения. Напряжение питания корректора 173 *в*. Сопротивление дополнительных обмоток возбуждения 10 *ом*. Максимальный рабочий

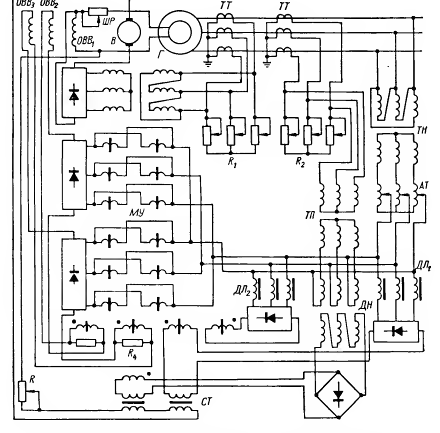


Рис. XVIII.9. Схема АРВ с двухсистемным корректором напряжения типа ЭПА-151:

*ДЛ*₁, *ДЛ*₂ и *ДН* — дроссели соответственно линейные и нелинейный

ток 4 *а*. Максимальный ток выхода: согласованный $I_{\text{кор. согл}} = 9$ *а*, противовключенный $I_{\text{кор. пр}} = 11$ *а*.

Точность регулирования составляет $\pm 0{,}5\%$ от величины поддерживаемого напряжения при неизменной частоте. Статизм корректора можно регулировать в пределах $\pm 5\%$. Установочный АТ

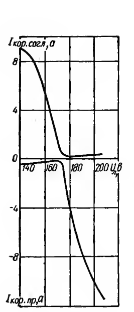


Рис. XVIII.10. Характеристика двухсистемного ЭМК.

Рис. XVIII.11. Принципиальная схема устройства фазового компаундирования с электромагнитным корректором типа УБК-У (РНА-60):

$Д_{чк}$, $C_{чк}$ и $R_{чк}$ — соответственно дроссель, конденсатор и сопротивление частотной компенсации; *УТП* — универсальный трансформатор компаундирования; w_1 и w_2 — обмотки трансформатора соответственно первичная и вторичная; $w_н$ — обмотка напряжения; $w_у$ — обмотка управления; *ДФ* — дроссель фильтрующий

Таблнца XVIII.1

Техннческне данные АРВ тнпа УБК

Характеристика	Регулятор		
	УБК-1	УБК-У (РНА-60)	УБК-3
Полезная мощность на выходе, *вт*	160 *вт* — I н II нсполненне 320 *вт* — III н IV »	400	630
Напряжения на выходе	20 *в* — I нсполненне, 40 *в* — II нсполненне 40 *в* — III » 80 *в* — IV »	50 *в* — I нсполненне 100 *в* — II »	70 *в* — I нсполненне 140 *в* — II»
Ток на выходе	8,0 *а* — I нсполненне, 4,0 *а* — II нсполненне 8,0 *а* — III » 5,0 *а* — IV »	8 *а* — I нсполненне 4 *а* — II »	9 *а* — I нсполненне 4,5 *а* — II »
Область прнменення	Турбогенераторы мощностью до 1000 *квт*; допускается прнмененне для машнн большей мощностн	Турбогенераторы до 12 000 *квт*, гндрогенераторы до 1500 *квт*	Турбогенераторы мощностью до 150 *мвт*
Точность регулнровання, %	±(0,5—2)	±(0,5—2)	±(0,5—2)
Пределы регулнровання статнзма, % регулнруемого напряжения	3—5	5	5
Пределы регулнровання напряження установочным реостатом, % регулнруемого напряження	±7,5	±(7——15	±7,5)
Точность коррекцнн напряження по частоте, % регулнровання напряження	±1	±0,5	±1

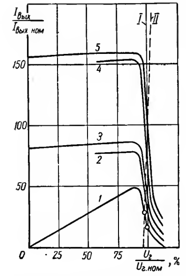


Рис. XVIII.12. Характеристики регулятора типа УБК $I_{вых} = f(U)$:

1 — холостой ход генератора; *2* — 50% нагрузки генератора при высоком cos φ; *3* — 50% нагрузки генератора при низком cos φ; *4* — 100% нагрузки генератора при высоком cos φ; *5* — 100% нагрузки генератора при низком cos φ (кривые *2*—*5* сняты при неизменной величине тока статора); *I* — астатическая настройка; *II* — настройка с отрицательным статизмом

корректора обеспечивает изменение напряжения генератора в пределах ±10%.

Характеристика двухсистемного корректора при $R_{наг} = 15$ *ом* изображена на рис. XVIII.10.

Устройство типа ЭПА-132 представляет собой двухсистемный электромагнитный корректор напряжения, применяемый для гидрогенераторов мощностью 2,5—100 *мвт*.

Корректор включается на дополнительные обмотки возбуждения возбудителя. Сопротивление дополнительных обмоток возбуждения 15 *ом*. Максимальный рабочий ток выхода: согласованный 8, противовключенный 10 *а*. Остальные данные устройства ЭПА-132 такие же, как у корректора АРВ типа ЭПА-151.

АРВ типа **УБК (УБК-1), УБК-У (РНА-60), УБК-3** включают в себя устройства фазового компаундирования и электромагнитные корректоры напряжения, осуществляющие подмагничивание универсального многообмоточного трансформатора (УТП) фазового компаундирования (рис. XVIII.11).

Технические данные регуляторов типа УБК приведены в табл. XVIII.1. Характеристики регулятора типа УБК изображены на рис. XVIII.12.

4. Наладка устройств компаундирования с электромагнитным корректором напряжения

В объем испытательно-наладочных работ по устройствам компаундирования с электромагнитным корректором напряжения входят следующие операции.

1. Проверочный расчет режимов и выбор модификации устройств компаундирования и корректора.
2. Внешний осмотр устройства.
3. Проверка коммутации (см. гл. III).
4. Испытание изоляции устройства (см. гл. III).

5. Проверка элементов устройства: а) измерение сопротивлений обмоток и реостатов постоянному току (см. гл. II); б) проверка коэффициентов трансформации трансформаторов, соотношений витков дросселей и отсутствия витковых замыканий (см. гл. III и XI); в) формовка и проверка селеновых выпрямителей (см. гл. XIV); г) проверка полярности и групп соединения обмоток трансформаторов, дросселей и магнитных усилителей (см. гл. III и XIV).

6. Снятие характеристики корректора напряжения

$$I_{вых} = f(U),$$

где $I_{вых}$ — ток выхода устройства в режиме, соответствующем холостому ходу генератора; U — напряжение, подводимое к устройству.

7. Подготовка и включение регулятора на генератор при холостом ходе, проверка и наладка устойчивости и точности регулирования, проверка пределов изменения напряжения, проверка и настройка частотной коррекции (там, где она имеется).

8. Опробование регулятора при работе генератора с нагрузкой, проверка правильности настройки компаундирующего трансформатора и других элементов регулятора; проверка фазочувствительности регулятора.

9. Проверка устойчивости распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами, определение и регулировка коэффициента статизма.

10. Наблюдение за регулятором при длительной (24—72-часовой) работе, проверка теплового режима элементов регулятора.

Проверочный расчет режимов и выбор модификации устройств компаундирования и корректора

Нормальное устройство компаундирования, работающее без корректора (типа ЭПА-305 и др.). Сопротивление шунтового реостата, которое должно быть постоянно включено при нормальной работе генератора, рассчитывают по формуле

$$R_{ш.\,р} = \frac{U_{в.\,хх} - I_{в.\,хх} R_{в.\,г}}{I_{в.\,хх}}\ [ом], \qquad (XVIII.12)$$

где $U_{в.\,хх}$ — напряжение на выводах возбудителя при холостом ходе генератора,

$$U_{в.\,хх} = I_{р.\,хх} R_{р.\,г}\ [в], \qquad (XVIII.13)$$

$I_{р.\,хх}$ — ток обмотки ротора при холостом ходе, *а*; $R_{р.\,г}$ — сопротивление обмотки ротора генератора при температуре 60—70° *С*, *ом*;

$I_{в.\,хх}$ — ток возбуждеиия возбудителя, соответствующий иапряжеиию $U_{в.\,хх}$ по иагрузочиой характеристике, сиятой при работе возбудителя иа обмотку ротора геиератора, *а*; $R_{в.\,г}$ — сопротивление обмотки возбуждеиия возбудителя при температуре 50° *С*, *ом*.

Коэффициеит траисформации промежуточного (выпрямительного) траисформатора компауиднрования

$$N_к = K_р \frac{I_{г.\,ном}\beta_I}{K_{тт} I_{к\ \ ном}}\,, \qquad (XVIII.14)$$

где $K_р$ — коэффициент, выбираемый равиым 0,5—0,7 для обеспечеиия регулировочной способности установочного реостата компаундирования; $I_{г.\,ном}$ — иоминальиый ток геиератора; $K_{тт}$ — коэффициент трансформации ТТ компаунднроваиия; β_I — коэффициент выпрямлеиия по току, для трехфазной схемы выпрямлеиия равиый 1,2—1,3; $I_{к.\,ном}$ — ток компауидирования при иомииальиом режнме геиератора,

$$I_{к.\,ном} = I_{в.\,ном} - \frac{U_{в.\,н} - I_{в.\,н} R_{в.\,г}}{R_{ш\ р}}\,[а], \qquad (XVIII.15)$$

$I_{в.\,ном}$ — ток возбуждения возбудителя при иомииальиом режиме генератора (приблнжеиио может быть определеи с помощью иагрузочиой характеристики возбуднтеля), *а*; $U_{в.\,ном}$ — напряжение на выводах возбуднтеля при номииальиом режиме генератора,

$$U_{в.\,ном} = I_{р.\,ном} R_{р.\,г}\,[в], \qquad (XVIII.16)$$

$I_{р.\,ном}$ — номинальиый ток обмотки ротора, *а*; $R_{р.\,г}$ — сопротивление роториой обмотки при температуре 100—110° *С*, *ом*.

Величина сопротивления фазы установочиого реостата для иоминального режима геиератора определяется из выражения

$$R_{уст} = \frac{U_2}{\dfrac{I_{г.\,ном}}{K_{ТТ}} - \dfrac{N_к I_{к.\,ном}}{\beta_I}}. \qquad (XVIII.17)$$

Здесь U_2 — напряжение на устаиовочиом реостате,

$$U_2 = \frac{\dfrac{I_{в.\,ном} R_{в.\,г}}{\beta_н} + \dfrac{\Delta U_л}{\sqrt{3}}}{N_к}\,[в], \qquad (XVIII.18)$$

где $\beta_н$ — коэффициеит выпрямления по напряженню для трехфазной

схемы выпрямлеиия, равиый 2,2—2,3; $\Delta U_л$ — лннейное падение иапряжеиия иа выпрямителях прн $I_{к. ном}$,

$$\Delta U_л = \left(1 + \frac{0,3}{m} I_{к. ном}\right) n \, [в] \qquad \text{(XVIII.19)}$$

(m и n — число соответствеиио параллельио и последовательио соедииеиных пластии в плече выпрямителя).

Нормальное устройство компаундирования с согласно включенным электромагнитным корректором (типа ЭПА-305 и др.). Для такого устройства сопротивление шунтового реостата возбудителя и установочиого реостата компаундироваиия выбирают таким образом, чтобы в режиме холостого хода и в режиме работы геиератора с максимально возможиым коэффициентом мощности от корректора не требовался ток, меньший его минимального рабочего тока. Кроме того, проверяют максимальную велнчину тока корректора в режиме работы генератора с минимальио возможиым в эксплуатации коэффициентом мощиости. Эта величииа ие должна превышать длнтельио допустимого тока корректора.

Величииа сопротивлеиия введенной в работу частн шунтового реостата рассчитывается по формуле

$$R_{ш. р} = \frac{U_{в. хх} - I'_{в. хх} R_{в. г}}{I'_{в. хх}} \, [ом]. \qquad \text{(XVIII.20)}$$

Здесь $I'_{в. хх}$ — ток возбуждеиия возбудителя прн холостом ходе геиератора, протекающий через шунтовой реостат,

$$I'_{в. хх} = I_{в. хх} - I_{кор. хх} \frac{w_{д. в}}{w_в} \, [а], \qquad \text{(XVIII.21)}$$

где $I_{кор. хх}$ — ток выхода корректора в режиме холостого хода генератора,

$$I_{кор. хх} = (2 - 3)\, I_{кор. мин} \, [а] \qquad \text{(XVIII.22)}$$

($I_{кор. мин}$ — миинмальный рабочнй ток корректора, $а$); $w_в$ н $w_{д. в}$ — число витков соответствеиио основиой и дополиительиой обмоток возбуждеиия возбудителя.

При включеиии корректора иа общую обмотку возбуждения возбудителя выражеиие XVIII.21 прниимает внд

$$I'_{в. хх} = I_{в. хх} - I_{кор. хх}.$$

Величина сопротивления фазы установочного реостата компаундирования

$$R_{\text{уст. ком}} = \frac{U_2}{\frac{I_{\text{г}}}{K_{\text{ТТ}}} - \frac{I_{\text{к}} N_{\text{к}}}{\beta_1}} \, [\text{ом}], \qquad (\text{XVIII.23})$$

где $I_{\text{г}}$ — ток обмотки статора генератора при максимальном в эксплуатации коэффициенте мощности ($\cos\varphi_{\text{макс}}$); $I_{\text{к}}$ — ток компаундирования.

Последовательность определения тока компаундирования:

1) рассчитывают напряжение на выводах возбудителя при токе обмотки ротора $I_{\text{р1}}$, соответствующем максимальному коэффициенту мощности и номинальной нагрузке:

$$U_{\text{в}} = I_{\text{р1}} R_{\text{р. г}} \, [\text{в}], \qquad (\text{XVIII.24})$$

где $R_{\text{р. г}}$ — сопротивление обмотки ротора при температуре 100—110°C;

2) по нагрузочной характеристике возбудителя определяют ток возбуждения возбудителя $I_{\text{в}}$, соответствующий напряжению $U_{\text{в}}$;

3) рассчитывают ток в основной обмотке возбуждения возбудителя

$$I_{\text{о. в}} = I_{\text{в}} - I_{\text{кор. хх}} \frac{w_{\text{д. в}}}{w_{\text{в}}} \, [\text{а}]; \qquad (\text{XVIII.25})$$

4) определяют ток, протекающий через шунтовой реостат:

$$I_{\text{ш. р}} = \frac{U_{\text{в}} - I_{\text{о. в}} R_{\text{в. г}}}{R_{\text{ш. р1}}} \, [\text{а}], \qquad (\text{XVIII.26})$$

где $R_{\text{в. г}}$ — сопротивление основной обмотки возбуждения возбудителя при температуре 70° С, *ом*.

Таким образом, ток компаундирования

$$I_{\text{к}} = I_{\text{о. в}} - I_{\text{ш. р}} \, [\text{а}]. \qquad (\text{XVIII.27})$$

Нагрузку корректора и другие параметры устройства при минимальном эксплуатационном коэффициенте мощности ($\cos\varphi_{\text{мин}}$) определяют по приведенным ниже формулам. Напряжение на выводах возбудителя рассчитывают по формуле (XVIII.16).

Ток в основной обмотке возбуждения возбудителя

$$I_{о\ в} = \frac{\left[N_к^2 R_{уст.\ ком} + \frac{\sqrt{3} n \beta_I}{10m}\right] U_в + \left[\frac{I_г}{K_{ТТ}} N_к R_{уст.\ ком} - \frac{n}{\sqrt{3}}\right] R_{ш\ pI} \beta_I}{\left[N_к^2 R_{уст.\ ком} + \frac{\sqrt{3} n \beta_I}{10m}\right] (R_в + R_{ш.\ pI}) + R_в R_{ш.\ pI} \frac{\beta_I}{\beta_н}} [a]. \quad (XVIII.28)$$

Ток корректора (максимальный)

$$I_{кор} = (I_в - I_{о\ в}) \frac{w_в}{w_{д.\ в}} \quad (XVIII.29)$$

(величина тока $I_в$ определяется по нагрузочной характеристике при известном значении $U_в$).

Устройство компаундирования с двухсистемным корректором (типа ЭПА-151 и др.). При расчете режимов работы двухсистемного корректора принимают, что настройка устройства компаундирования остается нормальной, т. е. в режимах холостого хода и номинальной нагрузки генератора его напряжение равно номинальному. Если правильно выбраны характеристики согласованного и противовключенного корректоров напряжения, то образуются равные по величине и противоположные по знаку рабочие токи:

$$I_{к.\ с.\ хх} = -I_{к.\ п.\ хх}. \quad (XVIII.30)$$

Величины этих токов близки к минимальным значениям.

Для проверки режимов работы корректоров рассчитывают их токи при работе генератора с максимальным (режим *1*) и минимальным (режим *2*) коэффициентом мощности.

Результирующий ток корректоров (суммарный ток двух систем) определяется из таких соотношений:
режим *1*

$$I_{кор1} = (I_{в1} - I_{о.\ в1}) \frac{w_в}{w_{д.\ в}}; \quad (XVIII.31)$$

режим *2*

$$I_{кор2} = (I_{в2} - I_{о.\ в2}) \frac{w_в}{w_{д.\ в}}. \quad (XVIII.31а)$$

Для режима *1* имеем $I_{кор1} < 0$, так как работает в основном противовключенный корректор, а согласованно включенный выдает только свой минимальный ток $I_{с.\ мин}$. При режиме *2* будет $I_{кор2} > 0$, так как работает согласованно включенный корректор, а противовключенный выдает минимальный ток $I_{п.\ мин}$ (см. рис. XVIII.10).

Таким образом, токи противовключенного $I_{\text{п}1}$ и согласованно включенного $I_{\text{с}2}$ корректоров определяют из выражений

$$I_{\text{п}1} = I_{\text{кор}1} - I_{\text{с. мин}};$$
$$I_{\text{с}2} = I_{\text{кор}2} - I_{\text{п. мин}}.$$

Если согласно расчету в каком-либо режиме один из корректоров перегружен, а другой недогружен, необходимо изменить настройку компаундирования, выбрав другое значение сопротивления его установочного реостата. Сопротивление, при котором нагрузки согласованного и противовключенного корректоров будут одинаковы, рассчитывается по формуле

$$R_{\text{уст. ком}} = \frac{1}{N_{\text{к}}} \cdot \frac{\dfrac{I_{\text{о.в}1} R_{\text{в. г}}}{\beta_{\text{н}}} + \dfrac{\sqrt{3}n}{10m}(I_{\text{в}1} - I_{\text{ш. р}1}) + \dfrac{I_{\text{о.в}2} R_{\text{в.г}}}{\beta_{\text{н}}} + \dfrac{\sqrt{3}n}{10m}(I_{\text{в}2} - I_{\text{ш. р}2})}{\dfrac{I_{\text{г}1}}{K_{\text{ТТ}}} - \dfrac{N_{\text{к}}}{\beta_{\text{I}}}(I_{\text{в}1} - I_{\text{ш. р}1}) + \dfrac{I_{\text{г}2}}{K_{\text{ТТ}}} - \dfrac{N_{\text{к}}}{\beta_{\text{I}}}(I_{\text{в}2} - I_{\text{ш. р}2})}. \quad \text{(XVIII.34)}$$

С найденным новым значением $R_{\text{уст. ком}}$ повторяют расчет режимов, в ходе которого определяют токи $I_{\text{п}1}$ и $I_{\text{с}2}$ для характерных нагрузок генератора.

Устройство фазового компаундирования с корректором (типа УБК-У, УБК-З). Модификация регулятора выбирается, исходя из условия, что максимальные значения тока $I_{\text{макс}}$ и напряжения $U_{\text{макс}}$ на выходе регулятора (см. табл. XVIII.1) не должны быть превышены в наиболее тяжелых эксплуатационных режимах (полная нагрузка нагретой машины при низком коэффициенте мощности, пониженной частоте и повышенном напряжении).

Это условие выполняется при соблюдении соотношений

$$0{,}75 U_{\text{макс}} \geqslant I_{\text{в. ном}} R_{\text{в}} + I_{\text{вых. ном}} R_{\text{д}}; \quad \text{(XVIII.35)}$$
$$0{,}75 I_{\text{макс}} \geqslant I_{\text{в. ном}} (1 - K_{\text{ш}}), \quad \text{(XVIII.36)}$$

где $I_{\text{вых. ном}}$ — ток на выходе регулятора в номинальном режиме генератора, *а*; $R_{\text{д}}$ — добавочное сопротивление, которое может быть включено на выходе регулятора при избыточной мощности регулятора или при необходимости выравнивания напряжения на выходе регуляторов параллельно работающих генераторов, если предусматривается связь между обмотками возбуждения возбудителей; $K_{\text{ш}}$ — коэффициент, определяющий относительную величину тока шунтового самовозбуждения возбудителя при номинальной нагрузке генератора:

$$I_{\text{ш. ном}} = K_{\text{ш}} I_{\text{в. ном}}. \quad \text{(XVIII.37)}$$

Для предварительного выбора модификации регулятора можно принять $R_д = 0$, а значение $K_ш$ рекомендуется принимать в таких пределах: для генераторов мощностью до 2000 *квт* изолированно работающих электростанций $K_ш = 0 - 0{,}5$, для генераторов мощностью больше 2000 *квт*, а также для генераторов электростанций, имеющих связь с системой, $K_ш = 0{,}5 - 0{,}65$. Увеличение значения $K_ш$ в последнем случае по сравнению с первым вызвано условиями устойчивости распределения реактивной мощности между генератором (станцией) и системой при переходе генератора (станции) в емкостный квадрант в нормальных эксплуатационных режимах, а также в процессе включения генератора методом самосинхронизации. При недостаточном значении $K_ш$ в указанных случаях генератор может потерять возбуждение от регулятора, так как благодаря фазовой схеме компаундирования в емкостном режиме генератора число витков питания УТП может быть равно нулю.

Во всех случаях выбираемое значение $K_ш$ не должно превышать максимально допустимого значения:

$$K_{ш.\,макс} = 0{,}85 \frac{I_{в\ хх}}{I_{в.\,ном}} \cdot \frac{U_{в.\,ном} - I_{в.\,ном} R_в}{U_{в.\,хх} - I_{в.\,хх} R_в}, \qquad \text{(XVIII.38)}$$

которое определяется условием обеспечения удовлетворительного регулирования напряжения при холостом ходе генератора.

При выбранном значении $K_ш$ сопротивление шунтового реостата

$$R_{ш.\,р} = \frac{U_{в.\,ном} - I_{в.\,ном} R_в}{K_ш I_{в.\,ном}}. \qquad \text{(XVIII.39)}$$

Ток на выходе регулятора при любой нагрузке генератора может быть определен по уравнению:

$$I_{вых} = I_в - \frac{U_в - I_в R_в}{R_ш}, \qquad \text{(XVIII.40)}$$

где $U_в$ и $I_в$ — напряжение возбудителя и его ток возбуждения в рассматриваемом режиме. Напряжение на выходе регулятора в этом режиме генератора определяется по уравнению

$$U_{вых} = I_в R_в + I_{вых} R_д. \qquad \text{(XVIII.41)}$$

При наличии определенных данных о $I_{в.\,макс}$ и $U_{в.\,макс}$ в указанном выше наиболее тяжелом эксплуатационном режиме генератора

вместо формул (XVIII.33) и (XVIII.34) нужно пользоваться следующими:

$$U_{\text{макс}} \geqslant I_{\text{в. макс}} R_{\text{в}} + R_g \left(I_{\text{в макс}} - \frac{U_{\text{в. макс}} - I_{\text{в. макс}} R_{\text{в}}}{R_{\text{ш.р}}} \right); \quad \text{(XVIII.42)}$$

$$I_{\text{макс}} \geqslant I_{\text{в. макс}} - \frac{U_{\text{в. макс}} - I_{\text{в. макс}} R_{\text{в}}}{R_{\text{ш. р}}}. \quad \text{(XVIII.43)}$$

Количество витков первичной последовательной обмотки УТП определяется по формуле

$$w_1 = \frac{1000P}{\alpha I_{\text{г. ном}}} \left\{ -2 + \sqrt{4 + \frac{I^2_{\text{в. ном}} [R_{\text{в}} + R_{\text{д}} (1 - K_{\text{ш}})] (1 - K_{\text{ш}})}{2{,}8 K_{\text{ном}} K_{\text{ф}} S}} \right\}. \quad \text{(XVIII.44)}$$

Здесь α — коэффициент, учитывающий способ включения УТП; при включении УТП в две фазы генератора на разность токов (через трансформаторы тока или без них) $\alpha = 1{,}73$;

P — величина, численно равная коэффициенту трансформации компаундирующих ТТ $K_{\text{тт}}$ (для случая включения УТП через трансформаторы тока) или же минимальному количеству витков в окне УТП $w_{1\text{мин}}$, необходимому для осуществления выбранного прямого включения (при прямом включении УТП в две фазы генератора на разность токов $w_{1\text{мин}} = 2$);

$K_{\text{ном}}$ — коэффициент регулировочной способности регулятора при номинальной нагрузке генератора, который представляет собой отношение тока выхода регулятора при номинальной нагрузке генератора к максимально возможному току выхода регулятора при тех же условиях, но при отсутствии подмагничивания УТП (при минимальном токе выхода корректора); $K_{\text{ном}}$ рекомендуется принимать в пределах 0,48—0,58, меньшие значения этого коэффициента следует выбирать, когда желательно получить естественный отрицательный статизм регулирования; при $K_{\text{ном}} = 0{,}58$ обычно имеет место астатическая настройка регулятора;

$K_{\text{ф}}$ — коэффициент, характеризующий форсировочную способность регулятора; он представляет собой отношение напряжения на выходе регулятора при номинальном режиме генератора к напряжению на выходе регулятора, которое он должен обеспечить в режиме форсировки возбуждения при к. з. генератора; величину $K_{\text{ф}}$ рекомендуется принимать в пределах 0,3—0,4;

S — сечение магнитопровода УТП.

В случае питания УТП от ТТ желаемая форсировка возбуждения, определяемая коэффициентом $K_{\text{ф}}$, будет достигнута при ус-

ловии, что максимальное напряжение $U_{г.\ макс}$, которое может быть обеспечено этими трансформаторами,

$$U_{г.\ макс} \geqslant \frac{I^2_{в.\ ном}[R_в + R_д(1-K_ш)](1-K_ш)K_{ТТ}}{0{,}58K_{ном}K_ф\alpha I_{г.\ ном}}. \quad (XVIII.45)$$

Ориентировочно максимальное напряжение ТТ для сердечников из стали Э310 (ХВП) сечением $S_т$

$$U_{г.\ макс} = 1{,}5 \cdot 0{,}022 w_{т2} S_т, \quad (XVIII.46)$$

для сердечников из стали Э42

$$U_{г.\ макс} = 0{,}022 w_{т2} S_т \left(1 + \frac{0{,}7I_{г.ном} w_{т1}}{1700 + I_{г.\ ном} w_{т1}}\right). \quad (XVIII.47)$$

Число первичных витков ТТ

$$w_{т1} = \frac{w_{т2}}{K_{ТТ}}. \quad (XVIII.48)$$

При наличии релейного устройства форсировки возбуждения значения коэффициента $K_ф$ в уравнении (XVIII.45) можно увеличить до 0,75. Тогда для питания УТП пригодны менее мощные ТТ. Однако потолок возбуждения практическн будет достигнут благодаря релейной форсировке возбуждения.

Еслн при максимальном значении $K_ш$, определяемом уравнением (XVIII.38), не удовлетворяется условие (XVIII.45), значит компаундирующие ТТ имеют недостаточную мощность. Тогда необходимо использовать второй комплект сердечников (прн его наличин) илн заменить ТТ на более мощные.

Распределение первнчных витков w_1 между фазамн генератора (только в случае прямого включения) зависит от выбранного включения УТП; при включении на разность токов двух фаз в каждой из этнх фаз нспользуется половнна внтков w_1.

Количество вторичных витков УТП определяется по формуле

$$w_2 = \frac{0{,}8K_{ном}\alpha I_{г.\ ном} w_1}{I_{в.\ ном} P(1-K_ш)}. \quad (XVIII.49)$$

Минимальное количество внтков параллельной обмоткн УТП

$$w_{н.\ мин} = \frac{2{,}3I_{в.\ хх} w_2 (1 - 1{,}1K_ш)}{I_{д.\ ф\ макс}}, \quad (XVIII.50)$$

где $I_{д. ф. макс}$ — максимальио допустимый ток дросселя или параллельной обмотки УТП, $I_{д. ф. макс} = 2,7$. Величииу $w_н$ можио довести до максимально допустимого значения

$$w_{н. макс} = \frac{0,45 w_2 U_{ном}}{I_{в. ном} [R_в + R_д (1 - K_ш)]} \qquad (XVIII.51)$$

с учетом возможиости использования свободных секций обмоток w_1 и w_2, если устойчивость регулирования напряжения при холостом ходе генератора окажется неудовлетворительной или же желательно разгрузить эту цепь по току для облегчения теплового режима УТП. В уравнеиии (XVIII. 51) $U_{ном}$ — напряжение питаиия цепи дросселя *ДФ* и параллельной обмотки УТП, равное для генератсра НН его номинальному линейному или фазовому напряжению.

Следует помиить, что между токами возбуждения возбудителя при холостом ходе генератора и его номинальиой нагрузке существуют такие соотношения:
для гидрогеиераторов

$$I_{в. ном} = (1,5 - 2,0)\, I_{в. хх}; \qquad (XVIII.52)$$

для турбогенераторов, дизельгенераторов и др.

$$I_{в. ном} = (2,5 - 3,0)\, I_{в. хх}. \qquad (XVIII.53)$$

Эти соотношения можно использовать в том случае, когда эксперимеитально получить значение тока $I_{в. ном}$ затруднительно.

Витки УТП рекомеидуется выбирать на основе результатов расчета по приведеииым выше формулам для нескольких вариаитов, получающихся при различных зиачениях коэффициентов $K_{ном}$, $K_ф$ и $K_ш$. Лучшим вариантом следует признать тот, который легче осуществим (для УТП прямого включения) и у которого меньшее зиачение коэффициента $K_ш$.

Напряжеиие на первичиой последовательиой обмотке УТП в любом режиме генератора

$$U_1 = 1,4 \frac{w_1}{w_2} \left[I_в R_в + R_д \left(I_в - \frac{U_в - I_в R_в}{R_ш} \right) \right]. \qquad (XVIII.54)$$

Внешний осмотр

При внешнем осмотре устройства следует обращать внимание на правильность выполнения монтажа в соответствии с выбраииой схемой включеиия и модификацией устройства, иадежность выполнения изоляции между витками первичной обмотки УТП, правильность выбора ТТ и ТН и т. п. В процессе осмотра должна быть проверена плотность каждого контактного соедииеиия и каждой пайки. В некоторых случаях проверяется диаметр выпрямительиых

пластин и сечение магнитопроводов МУ и универсальных трансформаторов УБК. Обращается внимание также на надежность крепления элементов регулятора.

Снятие характеристики корректора напряжения $I_{вых} = f(U)$

Зависимость тока выхода корректора от подводимого к нему напряжения, $I_{вых} = f(U)$, является характеристикой, по которой можно судить об исправности всех элементов корректора, отсутствии ошибок в сборке его схемы и о правильности настройки. Подводимое к корректору напряжение можно изменять либо с помощью установочного АТ, в ряде случаев входящего в комплект устройства, либо с помощью лабораторных регулировочных АТ.

Если корректор установлен на генераторе небольшой мощности, напряжение иногда целесообразно изменять непосредственно на генераторе, регулируя его возбуждение шунтовым реостатом. Выход корректора при снятии характеристики обычно замыкается на эквивалентное сопротивление $R_э$ (рис. XVIII.13), величина которого указывается в заводской технической документации; последовательно с сопротивлением включается амперметр постоянного тока.

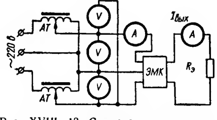


Рис. XVIII. 13. Схема снятия характеристики ЭМК.

При снятии характеристики корректора, входящего в состав устройства УБК, необходимо включить через амперметр на обмотку управления универсального компаундирующего трансформатора УТП выход МУ, закоротить его вторичную обмотку и отключить первичную параллельную, закоротить частотный контур, отключить обмотку внешней обратной связи МУ.

Когда в корректор включен установочный реостат, характеристику следует снимать при трех его положениях, соответствующих минимальному, максимальному и среднему напряжениям. Снятые в процессе наладки характеристики сравнивают с заводскими, после чего добиваются получения характеристик требуемой формы.

Влиять на параметры характеристики можно с помощью согласованного или встречного включения и отключения витков внешней обратной связи МУ, изменения соотношения токов линейного и нелинейного элемента и т. п. При этом необходимо следить за тем, чтобы токи отдельных элементов корректора не оказались больше допустимых.

Пробное включение устройства на генератор при холостом ходе

Первое включение устройства на генератор производится при его холостом ходе. Предварительно генератор возбуждается шунтовым реостатом до напряжения, равного 0,9 номинального; установочный реостат ставится в положение, соответствующее минимальному напряжению. Затем устройство включается и, если оно работает нормально, шунтовой реостат переводится в положение, соответствующее работе генератора с устройством. При этом напряжение на генераторе поддерживается на требуемом уровне с помощью установочного реостата. В дальнейшем устройство можно включать толчком или разворачивать генератор при включенном устройстве. В последнем случае по достижении определенной скорости вращения агрегата произойдет самовозбуждение генератора и напряжение установится на заданном уровне.

При включении устройства толчком проверяют следующие взаимосвязанные характеристики регулирующего устройства: устойчивость, точность и динамическую ошибку регулирования (заброс напряжения), а также пределы изменения регулируемого напряжения.

Устойчивость регулирования характеризуется количеством колебаний стрелки вольтметра после включения регулирующего устройства толчком. Малое число колебаний стрелки связано обычно со снижением точности регулирования и повышением броска напряжения, большое число колебаний неудобно в эксплуатации. Оптимальным принято считать число колебаний стрелки вольтметра, не превышающее 10.

Точность регулирования определяется при трех—пятикратном включении толчком регулирующего устройства с одинаковыми условиями (частотой, положением установочного реостата и т. п.) и сравнении значений напряжения генератора в установившихся режимах.

Степень устойчивости регулирующего устройства изменяется путем включения и отключения стабилизирующего трансформатора, регулировкой величины сопротивления в его первичной цепи или изменением наклона характеристики корректора (коэффициента усиления регулятора) с помощью обмоток обратной связи и т. п.

Пределы изменения регулируемого напряжения проверяют при последовательном перемещении установочного реостата или АТ в крайние положения и измерении напряжения на выводах генератора (обычно щитовым вольтметром). Настройка выполняется либо путем изменения сопротивления регулировочного реостата в цепях линейного элемента, либо переключением отпаек установочного АТ. При этом характеристики корректора в координатах $I_{вых}$, U смещаются почти параллельно самим себе.

В устройствах типа УБК при холостом ходе генератора дополнительно настраивается частотная коррекция. Настройка заключается в том, что регулировкой величины активного сопротивления частотного контура *КЧ* (см. рис. XVIII.11) добиваются такого положения, при котором изменение частоты генератора в пределах 48—52 *гц* не приводит к заметному изменению его напряжения.

Для генераторов с надежными и хорошо налаженными автоматическими регуляторами скорости первичных двигателей частотную коррекцию можно отключать.

Опробование регулирующего устройства при работе генератора с нагрузкой

Выход регулирующего (компаундирующего) устройства отсоединяется от возбудителя и замыкается через амперметр постоянного тока на сопротивление, величина которого выбирается примерно равной сопротивлению обмотки возбуждения возбудителя. На вход устройства компаундирования подается ток от ТТ или непосредственно (для БК непосредственного включения). Правильность выполнения схемы устройства и отсутствие дефектных элементов проверяется сравнением первичных и вторичных (выпрямленных) токов или коэффициентов трансформации, полученных из опыта и расчетным путем. Для устройств нормального компаундирования расчеты выполняются по формуле (XVIII.14).

Для регуляторов типа УБК предварительно определяется коэффициент трансформации:
при включении через ТТ

$$N_{к} = \frac{w_2}{w_1}; \qquad \text{(XVIII.55)}$$

при включении без ТТ (см. выражение (XVIII.44):

$$N_{к} = \frac{w_2 w_{1\,мин}}{\alpha w_1}. \qquad \text{(XVIII.56)}$$

После проведения опыта коэффициент трансформации рассчитывается по формуле

$$N_{к} = (0{,}75 - 0{,}81)\frac{I_1}{I_{вых}}, \qquad \text{(XVIII.57)}$$

где I_1 — ток первичной обмотки УТП (при непосредственном включении — ток генератора); $I_{вых}$ — ток выхода УТП.

Во время проведения опыта параллельная первичная и управляющая обмотка УТП должны быть отключены. В исправных устройствах значения коэффициента трансформации, определенные опытным и расчетным путем, практически совпадают.

Если генератор работает с нагрузкой и при отсоединенном от возбудителя регулирующем устройстве, можно проверить правильность включения параллельной первичной обмотки УТП. Предварительно это выполняется путем снятия векторной диаграммы. Окончательно фазочувствительность устройства типа УБК определяется в процессе нормальной работы генератора с регулятором при изменении $\cos\varphi$ нагрузки. Изменять фазочувствительность регулятора можно либо изменением положения движка шунтового реостата, либо переключением параллельной первичной обмотки УТП на другую фазу, либо шунтированием дросселя *ДФ* добавочным активным сопротивлением.

Проверка устойчивости распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами

В этом случае предварительно проверяется коэффициент статизма регулирующего устройства каждого генератора. Изменять коэффициент статизма можно, меняя наклон характеристики корректора

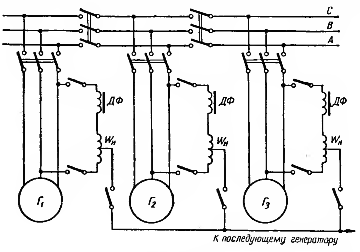


Рис. XVIII.14. Схема включения уравнительных связей между УБК параллельно работающих генераторов.

(более крутой характеристике соответствует меньший коэффициент статизма и наоборот) или включая специальные элементы. Для обеспечения устойчивого и равномерного распределения реактивных нагрузок между генераторами следует установить примерно одинаковые коэффициенты статизма регулирующих устройств.

Устойчивость и равномерность распределения реактивных нагрузок проверяется многократным включением (толчком) или отключением реактивной нагрузки. Соотношение реактивных мощностей генераторов до включения нагрузки и после включения не должно существенно изменяться.

Когда работают регуляторы типа УБК, обеспечить устойчивость распределения реактивных нагрузок можно при очень малых величинах коэффициента статизма за счет включения уравнительных связей между регуляторами. Схема одного из вариантов включения уравнительных связей для генераторов НН приведена на рис. XVIII. 14.

Наблюдение за регулятором при длительной работе и проверка теплового режима

После ввода регулирующего устройства в эксплуатацию необходимо в течение нескольких смен внимательно наблюдать за его работой, создавая наиболее тяжелые режимы генератора. Особое

Таблица XVIII.2

Максимально допустимые нагрузки ТН

Тип ТН	Соотношение напряжений, *в*	Максимальная нагрузка вне классов точности (ГОСТ 1983—43), *ва*	Максимальная нагрузка вне классов точности по результатам испытания, *ва*
НОС-0,5	380/100	200	250
НОС-0,5	500/100	200	250
НТС-0,5	380/100	400	500
НТС-0,5	500/100	400	500
НОМ-6	2100/100	240	400
НОМ-6	3000/100	240	400
НОМ-6	6000/100	400	600
НОМ-10	10000/100	640	720
НОМ-15	13800/100	840 (по ТУ)	840
НОМ-15	15000/100	640	840
НОМ-15	18000/100	840 (по ТУ)	840
НОМ-35		1200	2000
ЗНОМ-35-54	$\frac{3500}{3}:\frac{100}{3}:\frac{100}{3}$	1200	1500
НТМИ-6	3000/100	400	450
НТМИ-6	6000/100	640	700
НТМИ-10	10000/100	960	1200
НТМИ-18	13800/100	960 (по ТУ)	1200
НТМИ-18	18000/100	960 (по ТУ)	1200
НТМК-6-48	3000/100	400	600
НТМК-6	6000/100	640	750
НТМК-10	10000/100	960	1000

внимание следует уделять вопросам нагрева отдельных элементов регулирующего устройства. Нагрев трансформаторов предварительно проверяется на ощупь. При обнаружении мест повышенного нагрева следует установить жидкостный термометр и измерить токи в соответствующих цепях. Если токи окажутся больше допустимых, необходимо принять меры для их уменьшения. Допустимые превышения температуры элементов регулирующего устройства: для трансформаторов, дросселей, магнитных усилителей 60, для селеновых выпрямителей 25° С.

При работе регулирующих устройств ТН часто оказываются перегруженными. Для правильного выбора их допустимых нагрузок следует руководствоваться данными табл. XVIII.2.

5. Устройства автоматического повторного включения

Согласно ПУЭ, устройствами автоматического повторного включения (АПВ) при наличии коммутационных аппаратов должны быть оборудованы:

1) воздушные и смешанные (кабельно-воздушные) линии всех типов напряжением выше 1000 *в*; на кабельных линиях напряжением 35 *кв* и ниже АПВ рекомендуется применять, когда линия питает несколько подстанций и отсутствует автоматическое включение резерва (АВР);

2) шины электростанций и подстанций, когда имеется специальная защита шин;

3) понижающие трансформаторы (одиночные) мощностью более 1000 *ква*, если их отключение приводит к обесточению электроустановок потребителей;

4) обходные включатели, а при их отсутствии — шиносоединительные, заменяющие выключатели линий, оборудованных АПВ;

5) ответственные электродвигатели, отключаемые для обеспечения самозапуска других электродвигателей.

К устройствам АПВ предъявляют следующие требования. Устройство должно обеспечивать надежное однократное (или, если предусмотрено схемой, двух-, трехкратное) повторное включение выключателя после отключения его от релейной защиты или самопроизвольно. Должна быть исключена возможность не предусмотренных многократных повторных включений при застревании или отказе любого контакта в схеме устройства, а также по другим причинам. Устройство не должно действовать при отключении выключателя вручную, дистанционно или при помощи телеуправления, а также при срабатывании релейной защиты сразу же после включения выключателя вручную, дистанционно или с помощью телемеханики.

Должна быть предусмотрена возможность ускорения действия релейной защиты до АПВ или после него. Устройства АПВ должны выполняться, как правило, с автоматическим возвратом.

В настоящее время находят применение следующие устройства АПВ: а) трех- и однофазные АПВ (ОАПВ); последние применяют в сетях с большим током замыкания на землю при возможности включения и отключения каждой фазы отдельно; б) быстродействующие АПВ (БАПВ), при которых длительность полного цикла отключения

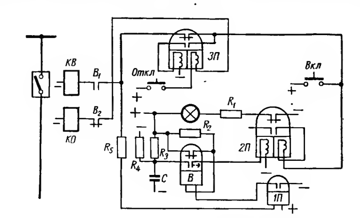


Рис. XVIII.15. Схема АПВ с пуском от несоответствия положения ключа управления и выключателя.

и включения не должна превышать 0,5 *сек*; в) АПВ с улавливанием синхронизма и АПВ с контролем отсутствия встречного напряжения для линий с двухсторонним питанием; г) АПВ с самосинхронизацией (АПВС); д) несинхронные АПВ (без проверки синхронизма), применяемые на линиях с двухсторонним питанием при условии, что предельный толчок сверхпереходного (симметричная составляющая) тока при включении не превышает пятикратного номинального для генераторов с неявно выраженными полюсами и синхронных компенсаторов и трехкратного номинального для генераторов с явно выраженными полюсами.

В качестве примера на рис. XVIII.15 и XVIII.16 приведены схемы АПВ линий, наиболее часто применяющиеся в электроустановках с постоянным оперативным током. В установках с переменным оперативным током нашли широкое применение механические устройства АПВ, встроенные в грузовые приводы типа УГП, ПГМ и др.

На рис. XVIII.15 изображена принципиальная схема устройства АПВ, применяемого для линий с односторонним питанием, трансформаторов, шин и электродвигателей, а также для линий с двухсторонним питанием при несинхронных АПВ.

Пуск устройства осуществляется при несоответствии положений ключа управления и выключателя, благодаря чему обеспечивается АПВ при любом, не предусмотренном отключении выключателя (от релейной защиты, самопроизвольно и т. п.). Однократность действия АПВ и отказ АПВ при включении линии на к. з. осуществля-

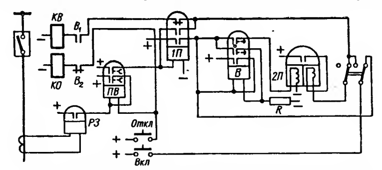


Рис. XVIII.16. Схема АПВ с пуском от релейной защиты РЗ (типа Мосэнерго).

ются за счет наличия конденсатора C, заряд которого длится около 20 *сек.* Этот конденсатор обеспечивает автоматический возврат схемы в рабочее состояние.

Испытательно-наладочные работы по устройствам АПВ

В объем испытательно-наладочных работ по устройствам АПВ входит следующее: а) проверка схемы устройства (см. гл. III); б) испытание изоляции элементов схемы устройства и проводок (см. гл. III); в) проверка реле, ТН, конденсаторов, приводов выключателя и т. п. (см. гл. XI и XVII); г) проверочный расчет установок реле и других элементов времени устройства АПВ, настройка элементов времени (регулировка уставок реле, подбор сопротивлений цепочек RC и т. п.); д) опробование работы устройства АПВ при полностью собранной схеме путем создания или имитации режимов, при которых возможна проверка выполнения всех требований, предъявляемых к АПВ.

Поверочный расчет уставок по времени устройств АПВ

Для простейших устройств АПВ, схемы которых приведены на рис. XVIII.15 и XVIII.16, так же как и для большинства других устройств, производится поверочный расчет длительности отключенного состояния выключателя и уставки реле времени АПВ $t_{АПВ}$ и времени возврата устройства в исходное состояние $t_{возв}$.

В качестве уставки реле времени АПВ, выполненного по схеме, приведенной на рис. XVIII.15, принимается бóльшая из двух величин $t_{АПВ}$:

$$t_{АПВ\,1} = t_{г.\,п} + t_{зап}; \qquad \text{(XVIII.58)}$$

$$t_{АПВ\,2} = t_{д.\,с} + t_{зап}, \qquad \text{(XVIII.59)}$$

где $t_{г.\,п}$ — время, необходимое для подготовки механизма привода к повторному действию (готовности привода), *сек*; $t_{д.\,с}$ — время, необходимое для деионизации среды после погасания электрической дуги (для линий напряжением 35 *кв* $t_{д.\,с}$ принимается равным 0,07 *сек*, для 110 — 0,15 *сек*, для 220—0,30 *сек*, для 400—500 *кв* — 0,35—0,40 *сек*); $t_{зап}$ — время запаса, учитывающее погрешность в определении $t_{г.\,п}$ и $t_{д.\,с}$, оно принимается равным 0,1—0,15 *сек*.

Для АПВ, выполненного по схеме Мосэнерго, выражения (XVIII.58) и (XVIII.59) изменяются, так как следует учитывать длительность отключения выключателя $t_{о.\,в}$ (время от момента подачи импульса на отключение до остановки траверсы):

$$t_{АПВ\,1} = t_{о.\,в} + t_{г.\,п} + t_{зап}; \qquad \text{(XVIII.60)}$$

$$t_{АПВ\,2} = t_{о.\,в} + t_{д.\,с} + t_{зап}. \qquad \text{(XVIII.61)}$$

Величины $t_{о.\,в}$ для некоторых типов выключателей приведены в табл. XVIII.3. Выдержка времени $t_{АПВ}$ для линий напряжением 3—35 *кв* приближенно должна быть равной 0,3—0,5 *сек*, а для линий 110—220 *кв* — 0,5—0,6 *сек*.

Время возврата устройства АПВ в исходное состояние $t_{воз}$ определяется из соотношения

$$t_{воз} \geqslant t_{р.\,з} + t_{о.\,в} + t_{зап} + t_{в.\,в} + t_{АПВ}, \qquad \text{(XVIII.62)}$$

где $t_{р.\,з}$ — время действия наиболее медленной релейной защиты, отключающей выключатель после действия АПВ; $t_{зап}$ — время запаса, принимаемое в этом случае равным 0,7—1,0 *сек*; $t_{в.\,в}$ — длительность включения выключателя от момента подачи импульса до остановки траверсы, *сек* (табл. XVIII.3).

Необходимо иметь в виду, что $t_{воз}$ должно быть больше или равно 8—10 *сек*.

Таблица XVIII.3

Технические данные некоторых выключателей, необходимые для расчета параметров настройки АПВ

Тип выключателя	Тип привода	Время включения выключателя, *сек*, от момента подачи импульса до момента		Время отключения выключателя, *сек*, от момента подачи импульса до момента	
		замыкания контактов	остановки траверсы	размыкания контактов	остановки траверсы
МКП-35	ПЭ-2	0,4—0,45	0,45	0,05	0,2
МКП-160	ПС-30	0,8	0,85	0,07	0,35
МКП-110	ПЭ-3	—	0,5	0,04—0,06	—
МКП-274	ПС-30	1,5	1,55	0,08	0,35
МКП-220	ПЭ-42	—	0,7—0,8	0,04—0,05	—
ВВН-35	Пневматический	—	0,2	0,07	0,25
ВВН-110	»	—	0,3	0,05	0,25
ВВН-154	»	—	0,3	0,05	0,25

Для устройства АПВ, схема которого приведена на рис. XVIII.15, выражение (XVIII.62) записывается в следующем виде:

$$t_{\text{воз}} \geqslant t_{\text{р. з}} + t_{\text{о. в}} + t_{\text{зап}}, \qquad \text{(XVIII.63)}$$

так как конденсатор начинает заряжаться только после включения выключателя. При этом

$$R = \frac{t_{\text{воз}}}{C \ln \dfrac{U_{б}}{U_{б} - U_{\text{ср}}}} \; [Мом], \qquad \text{(XVIII.64)}$$

где C — емкость конденсатора, *мкф*; $U_{б}$ — напряжение аккумуляторной батареи, *в*; $U_{\text{ср}}$ — напряжение срабатывания реле, *в*.

6. Устройства автоматического включения резервного питания

Согласно ПУЭ, III-3-24, устройства автоматического включения резервного питания (АВР) следует предусматривать в тех случаях, когда отключение источника питания обесточивает электроустановки потребителей или вызывает их разгрузку (при наличии соответствующих коммутационных аппаратов).

К устройствам АВР и связанным с ними устройствам защиты и управления предъявляют следующие требования.

1. Действие устройства АВР должно быть обеспечено при исчезновении напряжения на резервируемом участке по любой причине (в том числе и при к. з. на нем).

2. Должна обеспечиваться однократность действия устройства АВР.

3. Пусковой орган защиты минимального напряжения, контролирующий напряжение на шинах электроустановки потребителя,

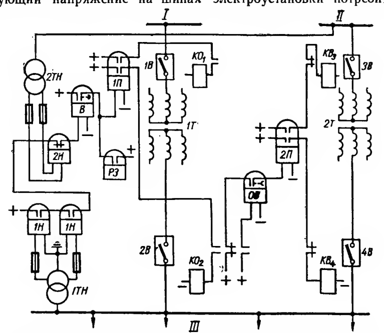


Рис. XVIII.17. Принципиальная схема АВР трансформатора с обеспечением однократности включения за счет применения реле РОВ с замедлением на отпадание.

должен быть выполнен таким образом, чтобы исключалась его ложная работа при перегорании одного из предохранителей ТН (рис. XVIII.17 и XVIII.18).

4. У всех выключателей, на которые действуют электрические устройства АВР, должен быть предусмотрен контроль целости цепи включения.

В последние годы широкое распространение в электроустановках получило устройство АВР, схема которого приведена на рис. XVIII.17. В этом устройстве предусматривается контроль напряжения не только на резервируемой секции шин (реле 1Н), но и на питающих шинах (реле 2Н) во избежание ненужного действия устройства при отсутствии напряжения питания. Реле времени предназначено для предотвращения срабатывания устройства АВР при кратковременных

исчезновениях и снижениях напряжения на шинах резервируемой секции. Однократность действия устройства обеспечивается реле ОВ, которое в схеме на рис. XVIII.17 представляет собой магнитное реле времени с замедлением на отпадание, а в схеме на рис. XVIII.18 — промежуточное реле с двумя обмотками — рабочей и удерживающей.

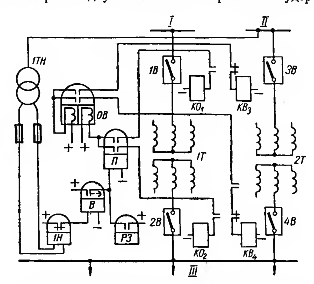


Рис. XVIII.18. Принципиальная схема АВР трансформатора с обеспечением однократности включения за счет применения реле ОВ с двумя обмотками.

Испытательно-наладочные работы по устройствам АВР производятся в том же объеме, что и по устройствам АПВ.

Поверочный расчет уставок реле, входящих в устройство АВР

Напряжение срабатывания $U_{\text{ср1}}$ реле 1Н чаще всего выбирается равным (или меньшим) 25% номинального, так как они должны контролировать не снижение, а исчезновение напряжения на шинах:

$$U_{\text{ср}} \leqslant \frac{0{,}25\, U_{\text{ном}}}{K_{\text{ТН}}}, \qquad \text{(XVIII.65)}$$

где $K_{\text{ТН}}$ — коэффициент трансформации ТН.

В отдельных случаях для предотвращения ненужных срабатываний реле 1Н при к. з. на отходящих фидерах за реакторами и вынужденного в связи с этим увеличения выдержки времени реле

уставки реле 1Н принимаются меньшими, чем остаточное напряжение на контролируемых шинах при $U_{кз}$:

$$U_{ср\,1} \leqslant \frac{U_{кз}}{K_{ТН}}. \qquad \text{(XVIII.66)}$$

Условием выбора уставки реле 2Н $U_{ср}$ является несрабатывание его при минимальном рабочем напряжении на питающих шинах $U_{раб.\,мин}$:

$$U_{ср\,2} = \frac{K_в}{K_н K_{ТН}} U_{раб.\,мин}, \qquad \text{(XVIII.67)}$$

где $K_в$ — коэффициент возврата, равный 0,85; $K_н$ — коэффициент надежности, равный 1,1—1,2.

Обычно минимальное рабочее напряжение принимается на 10% меньше номинального напряжения на шинах.

Выдержка времени $t_{р.\,в}$ реле времени выбирается больше выдержки времени каждой из релейных защит $t_{р.\,з}$ от к. з., приводящих к таким снижениям напряжения на резервируемых шинах, при которых срабатывают реле минимального напряжения 1Н:

$$t_{р.\,в} \geqslant t_{р.\,з} + t_{зап}, \qquad \text{(XVIII.68)}$$

где $t_{зап}$ — время запаса, равное 0,2—0,3 *сек*.

Если в устройствах АРВ в качестве реле однократности включения ОВ применяют магнитные реле времени, уставки их определяют как

$$t_{ов} \geqslant t_{в.\,в} + t_{зап}, \qquad \text{(XVIII.69)}$$

где $t_{в.\,в}$ — длительность включения выключателя с учетом работы привода.

7. Устройство полуавтоматической самосинхронизации синхронных генераторов

Согласно ПУЭ, III-3-36, при использовании самосинхронизации как основного способа включения генераторов на параллельную работу следует предусматривать установку на гидрогенераторах устройств автоматической, а на турбогенераторах — устройств ручной или полуавтоматической самосинхронизации.

Устройство полуавтоматической синхронизации (как грубой, так и точной) обеспечивает автоматическое определение условий, при которых допустимо включение на параллельную работу, и подает при их соблюдении импульс на включение выключателя генератора (при самосинхронизации на подачу возбуждения). Подгонка частоты и напряжения при этом производится вручную.

В настоящее время на электростанциях широко применяется устройство полуавтоматической синхронизации, выполненное на базе серийно выпускаемого реле разности частот типа ИРЧ-01.

Технические данные реле типа ИРЧ-01: номинальное напряжение на обмотке II 100 *в*. Рабочий ток обмотки I 55±15 *ма*. Номинальная частота 50 *гц*. Реле надежно работает при изменении частоты сети в диапазоне 40—60 *гц*. Потребляемая мощность обмотки II при номинальном напряжении 35 *ва*. Омическое сопротивление обмотки I 0,15 *ом*.

Разность частот, при которой реле срабатывает в нормальном рабочем режиме (номинальные напряжение и рабочий ток), составляет 1 *гц*. При изменении напряжения на обмотке II в пределах 50—120 *в* и тока в обмотке I от 35 до 100 *ма* разность частот, при которой срабатывает реле, находится в пределах 1,8—0,35 *гц*.

Предельно допустимая скорость изменения разности частот, при которой надежно срабатывает реле типа ИРЧ-01:

Разность частот срабатывания, *гц*	0,2	0,5	0,7	1,0	1,5
Допустимая скорость изменения разности частот, *гц/сек*	0,08	0,5	0,98	2	4,5

Максимальная разность частот, при которой еще возможно автоматическое включение генератора на параллельную работу, может регулироваться с помощью сопротивления $R_д$ в цепи обмотки I. Для каждого генератора устанавливается свое сопротивление $R_д$ в зависимости от величины остаточного напряжения.

В объем испытательно-наладочных работ по устройствам полуавтоматической самосинхронизации входит:

1) проверка схемы коммутации (см. гл. III);
2) испытание изоляции реле и проводок (см. гл. III и XVII);
3) проверка реле (см. гл. XVII);
4) опытная проверка правильности работы устройства на вращающемся генераторе при отключенных шинных разъединителях (одновременно определяют максимальную разность частот, при которой возможно включение генератора, и подгоняют сопротивление $R_д$);
5) пробная полуавтоматическая самосинхронизация (трехкратная) с осциллографированием при необходимости токов и напряжений статора и возбуждения.

8. Устройства полуавтоматической синхронизации

При использовании точной синхронизации в качестве основного способа включения генераторов на параллельную работу, как правило, следует предусматривать установку устройств автоматической или полуавтоматической синхронизации.

. Для генераторов мощностью 12000 *квт* и меньше допускается применение ручной точной синхронизации с блокировкой от несинхронного включения (ПУЭ, III-3-37). Чтобы в момент включения генератора на параллельную работу этим способом уравнительный ток был минимальным, нужно как можно точнее выполнить условия, приведенные в гл. VII, а импульс на включение выключателя подать с опережением, равным собственному времени его включения.

Время опережения можно контролировать либо непосредственно, либо косвенно по напряжению биения (по разности напряжений подключаемого генератора и системы).

Мгновенное значение напряжения биения

$$U_S = U_1 - U_2 = U_{\text{макс}\,1} \sin \omega_1 t - U_{\text{макс}\,2} \sin \omega_2 t. \quad \text{(XVIII.70)}$$

Принимая амплитудные значения напряжений системы $U_{\text{макс}\,1}$ и подключаемого генератора $U_{\text{макс}\,2}$ равными друг другу, выражение (XVIII.70) можно упростить:

$$U_S = 2\,U_{\text{макс}} \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\, t \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\, t, \quad \text{(XVIII.71)}$$

где ω_1 и ω_2 — угловая скорость вращения векторов соответственно напряжения сети и генератора, 1/*сек*.

Эффективное значение напряжения биения, измеряемое обычно нулевым вольтметром:

$$U_{S\,\text{эф}} = 2\,U \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\, t, \quad \text{(XVIII.72)}$$

или

$$U_{S\text{эф}} = 2\,U \sin \frac{\Delta\omega}{2}\, t = 2\,U \sin \pi\, \Delta f t, \quad \text{(XVIII.73)}$$

где Δf — разность частот электросистемы и подключаемого генератора, *гц*.

Как видно из выражения (XVIII.73), косвенный контроль времени опережения t по напряжению биения дает точные результаты только при определенном значении Δf.

Синхронизаторы бывают двух типов: 1) с постояннным углом опережения; 2) с постоянным временем опережения.

По принципу действия и конструкции значительно проще синхронизаторы первого типа. Синхронизаторы второго типа обеспечивают включение генераторов на параллельную работу с меньшими толчками уравнительного тока (особенно при применении выключателей с большим временем включения).

Синхронизаторы с постоянным углом опережения

Принципиальная схема синхронизатора с постоянным углом опережения (типа КА-11/13) приведена на рис. XVIII.19. Синхронизатор состоит из типовых реле, применяемых в релейных защитах и схемах автоматики.

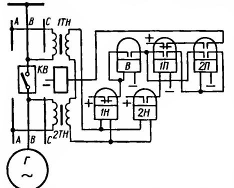


Рис. XVIII.19. Принципиальная схема синхронизатора типа КА-11/13.

В объем испытательно-наладочных работ синхронизаторов типа КА-11/13 входит: а) проверка схемы коммутации (см. гл. III); б) испытание изоляции реле и проводок (см. гл. III и XVII); в) проверка реле (см. гл. XVII); г) проверочный расчет уставок и настройка реле; д) опытная проверка работы устройства на вращающемся возбужденном генераторе при отключенных шинных разъединителях (контроль за правильностью работы устройства осуществляется по синхроноскопу или нулевому вольтметру); е) пробная полуавтоматическая синхронизация (трехкратная).

Поверочный расчет уставок реле производится в следующей последовательности.

Максимально допустимая при синхронизации разность частот определяется из уравнения

$$\Delta f_{д} = \frac{\arcsin\,[0{,}28\,(x_{c} + x_{г})\,I_{д}]}{\pi t_{вв}}\ [гц], \qquad (XVIII.74)$$

где x_{c} и $x_{г}$ — соответственно эквивалентное сопротивление электросистемы и сверхпереходное сопротивление генератора в относительных единицах, приведенные к мощности подключаемого генератора; $I_{д}$ — допустимый толчок уравнительного тока генератора при синхронизации, обычно $I_{д} = 1-2{,}5 I_{ном}$; $t_{вв}$ — длительность включения выключателя, *сек*. В выражении (XVIII.74) arcsin угла и число π следует давать в одинаковых единицах (градусах или радианах).

Уставки реле напряжения 1Н и 2Н рассчитывают по формулам

$$U_{ср1} = 2\frac{U_{ном}}{K_{ТН}}\sin\,[\pi\Delta f_{д}\,(t_{р.в} + t_{вв})]\ \ [в]; \qquad (XVIII.75)$$

$$U_{ср2} = 2\frac{U_{ном}}{K_{ТН}}\sin\pi\Delta f_{д}\, t_{вв}\ \ [в], \qquad (XVIII.76)$$

где $U_{ном}$ — номинальное или нормальное рабочее напряжение подключаемого генератора, *в*; $t_{р. в}$ — уставка реле времени, принимаемая обычно равной 0,3—0,5 *сек*.

Пример. Произвести расчет уставок реле устройства полуавтоматической синхронизации типа КА-11/13. Исходные данные: сверхпереходной реактанс подключаемого генератора $X_г = 0,125$, приведенный реактанс системы $X_c = 0,06$, длительность включения выключателя генератора $t_{в. в} = 0,3$ *сек*, допустимый толчок уравнительного тока $I_д = 2$, вторичное напряжение генератора $U_{ном} = 105$ *в*.

Определим параметры настройки. Допустимая разность частот

$$\Delta f_д = \frac{\arcsin [0,28\,(0,06+0,125)\,2]}{\pi\, 0,3} = \frac{0,103}{3,14 \cdot 0,3} = 0,109\ гц.$$

Уставка реле 2Н

$$U_{ср2} = 2U_{ном} \sin (\pi \Delta f_д\, t_{в. в}) = 2 \cdot 105 \cdot \sin (3,14 \cdot 0,109 \cdot 0,3) = 21,6\ в.$$

Уставка реле времени $t_{р. в} = 0,4$ *сек*.

Уставка реле 1Н

$$U_{ср1} = 2U_{ном} \sin [\pi \Delta f_д\, (t_{р. в} + t_{в. в})] = 2 \cdot 105 \sin [3,14 \cdot 0,109 \cdot (0,4+0,3)] = 51,7\ в.$$

9. Автоматическая частотная разгрузка

Устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР) предназначены для предотвращения чрезмерного снижения частоты в энергосистемах при возникновении дефицита мощности. Восстановление частоты обеспечивается путем отключения части нагрузки.

Согласно ПУЭ, III-3-49, отключение потребителей электроэнергии устройствами АЧР должно начинаться при снижении частоты в энергосистеме ниже 47—48 *гц* (верхний предел для небольших систем). Нижний предел снижения частоты для энергосистем с небольшой мощностью гидроэлектростанций или вообще без них может составлять 45 *гц*. В энергосистемах с большой мощностью гидроэлектростанций допускается нижний предел снижения частоты 40 *гц* на время, необходимое для ввода резервной мощности, если она имеется.

Нагрузка, присоединенная к устройствам АЧР, должна быть разбита на очереди. Допускается неселективное действие очередей разгрузки. В некоторых случаях устройства АЧР имеют реле времени для предотвращения ненужных отключений электроприемников при кратковременных снижениях частоты.

Для уменьшения длительности перерыва питания потребителей электроэнергии, отключенных устройствами АЧР, применяют частот-

ное АПВ, действующее при условии восстановления частоты в энергосистеме.

Основным элементом большинства устройств АЧР (рис. XVIII.20) является реле восстановления частоты Ч типа ИВЧ-011. Кроме схем

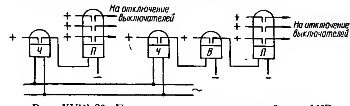


Рис. XVIII.20. Принципиальная схема устройства АЧР:
Ч — реле частоты; *П* — реле промежуточное; *В* — реле времени.

АЧР, реле ИВЧ-011 может быть использовано и в других устройствах защиты и автоматики (в делительной защите, устройствах автоматического пуска резервных генераторов и т. п).

Ниже приведены основные технические данные реле типа ИВЧ-011. Номинальное напряжение 100 *в*. Номинальная частота 50 *гц*. Пределы регулирования частоты срабатывания 45—46,5 *гц* (без перемычки на зажимах реле) и 46,5—49 *гц*.

Коэффициент возврата, т. е. отношение частоты, при которой контактная система возвращается в исходное положение, к частоте срабатывания реле, составляет до 1,01. Уставка частоты срабатывания имеет такие погрешности: а) при колебаниях напряжения в сети 60—125 *в* погрешность не превышает 0,2 *гц*; б) при колебаниях температуры окружающего воздуха — 10—35° С — 0,25 *гц*.

Емкость конденсатора в цепи катушки реле 1 *мкф*, напряжение 200 *в*. Потребляемая мощность реле при номинальном напряжении 10 *ва*, длительно допустимое напряжение 110 *в*. Разрывная мощность контактов в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой 50 *вт*, в цепи переменного тока 250 *ва* (при токе до 2 *а* и напряжении до 220 *в*).

Для работы реле ИВЧ с одним реле времени типа РВ-73, ЭВ-110, ЭВ-120, ЭВ-130 к контактам реле присоединяется искрогасительный контур.

Ниже приведены значения сопротивления искрогасительного контура при разных напряжениях сети оперативного тока (емкость конденсатора контура 2 *мкф*):

Напряжение, *в*	24	48	110	220
Сопротивление, *ом*	100—200	300—400	800—1000	1600—2000

При приемо-сдаточных испытаниях реле типа ИВЧ-011 производится внешний осмотр, проверка и регулировка механической

части, испытание изоляции, проверка и настройка электрических характеристик. Перед проверкой и настройкой электрических характеристик реле типа ИВЧ-011 должно быть прогрето в течение 1 *ч*. К зажимам подводятся напряжение 100 *в* частотой 50 *гц*. Кожух реле при прогреве должен быть надет.

Для проверки частоты срабатывания реле на его зажимы подают напряжение 100 *в* заданной частоты. Получение требуемой частоты обеспечивается за счет применения генератора технической частоты (ГТЧ) или другого источника переменной частоты. Окончательно частота срабатывания регулируется прн надетом кожухе.

Коэффициент возврата и работу контактов проверяют при плавном уменьшенин и последующем увеличении частоты подведенного к реле напряжения. Коэффициент возврата не должен превышать 1,01. Четкость работы контактов и отсутствие вибрации и подгорания нх проверяют при многократном срабатывании реле, когда подведено к нему напряжение 70—120 *в*, а к контактам подключена действнтельная нагрузка.

Регулирование коэффициента возврата и работы контактов пронзводится путем изменения затяжки пружины и расстояния между постоянным магнитом и подвижной системой. Вибрация подвижной системы при напряжении 110—120 *в* может быть устранена при уменьшении вертикального люфта подвижной системы до 0,1—0,15 *мм*, уменьшении жесткости неподвижных контактов или при увеличении расстояния между контактами до величины, при которой коэффициент возврата не превышает допустимого значения.

Прн проверке зависимости частоты срабатывания реле от напряжения частоту срабатывания определяют при крайних и нескольких промежуточных значениях напряжения, которое изменяют в пределах 60—120 *в*. При напряженин 70 и 100 *в* частота срабатывания не должна отличаться больше чем на 0,3—0,4 *гц*.

В случае необходимости регулировка может быть произведена небольшим нзменением затяжки пружины.

Когда проверяют поведение реле при снятии и подаче напряжения толчком, длительность кратковременного замыкания контактов не должна превышать 0,1 *сек*.

В объем испытательно-наладочных работ по устройствам АЧР входнт:

1) проверка схемы коммутации (см. гл. III);
2) испытание изоляцни реле н проводок (см. гл. III н XVII);
3) проверка реле (см. гл. XVII) и настройка их на заданные уставки;
4) опробование работы устройства при замыкании контактов реле частоты от руки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажанов С. А., Воскресенский В. Ф. Высоковольтные испытательные и регулировочные устройства Союзглавэнерго. Госэнергоиздат. 1961.
2. Барзам А. Б. Системная автоматика. Госэнергоиздат. 1959.
3. Берковнч М. А., Семенов В. А. Основы техники и эксплуатации релейной защиты. Госэнергоиздат. 1957.
4. Бодунген И. Н., Порубанский Ю. А. Наладка оборудования электрических подстанций. Госстройиздат. 1963.
5. Вульман Г. Л. Эксплуатация генераторов на электростанциях. Госэнергоиздат. 1963.
6. Гемке Р. Г. Неисправность электрических машин. Госэнергоиздат. 1960.
7. Гизила Е. П. Расчет устройств автоматики энергосистем. Гостехиздат УССР. 1962.
8. Голубов М. Л. Аппаратура для проверки релейной защиты и автоматики. Госэнергоиздат. 1962.
9. Гомберг А. Е., Мусаэлян Э. С. Проверка и испытания турбогенераторов в процессе монтажа. Госэнергоиздат. 1962.
10. ГОСТ—183—55. «Машины электрические». «Общие технические требования».
11. Гуревич Е. Я. Эксплуатация синхронных компенсаторов. Госэнергоиздат. 1959.
12. Дреиов П. В. Справочник по ремонту электрических машин. Гостехиздат УССР. 1958.
13. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. Госэнергоиздат. 1959.
14. Зевеке Г. В. Типовая инструкция по автоматическому регулированию возбуждения. Госэнергоиздат. 1944.
15. Инструкция по проверке реле. Союзглавэнерго при Госплане СССР. Госэнергоиздат. 1959—1963.
16. Инструкция по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки. СН-241-63. Госстройиздат. 1963.
17. Инструкция по проверке трансформаторов напряжения и их вторичных цепей. Госэнергоиздат. 1960.
18. Инструкция по проверке трансформаторов тока в схемах релейной защиты. Госэнергоиздат. 1961.
19. Инструкция по эксплуатации и ремонту генераторов на электростанциях. Госэнергоиздат. 1961.
20. Информационное сообщение № Э-6/60 Союзглавэнерго. Установки и приспособления, применяемые ОРГРЭС при высоковольтных испытаниях оборудования. Госэнергоиздат. 1960.
21. Информационное сообщение № Э-10/61 Союзглавэнерго. О применении нагрузочного трансформатора для проверки реле. Госэнергоиздат. 1961.

22. Казанский В. Е. Релейная защита. Госэнергоиздат. 1950.
23. Кондахчан В. С. Эксплуатация трансформаторов. Госэнергоиздат. 1957.
24. Лернер А. Я., Розенман Е. А. Наладка промышленных автоматизированных электроприводов. Госэнергоиздат. 1950.
25. Лукьянов Г. П. Наладка электроустановок. Профтехиздат. 1962.
26. Минин Г. П. Эксплуатация электроизмерительных приборов. Госэнергоиздат. 1959.
27. Мусаэлян Э. С. Проверка и испытания при монтаже турбогенераторов. Госэнергоиздат. 1962.
28. Николаев С. А. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам. Госэнергоиздат. 1953.
29. Объем и нормы испытаний электрооборудования. «Энергия». 1964.
30. Пиотровский Л. М., Васютинский С. Б., Несговорова Е. Д. Испытание электрических машин. Госэнергоиздат. 1957.
31. Попов В. С. Электротехнические измерения и приборы. Госэнергоиздат. 1958.
32. Поярков К. М. Регулировочные трансформаторы и их эксплуатация. Госэнергоиздат. 1960.
33. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Госэнергоиздат. 1961.
34. Правила устройства электроустановок. «Энергия». 1965.
35. Соловьев И. Н. Автоматизация энергетических систем. Госэнергоиздат. 1956.
36. Справочник по наладке и испытаниям электрических установок. ГПИ «ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ». 1956—1960.
37. Справочник по релейной защите. Под ред. Берковича М. А. Госэнергоиздат. 1963.
38. Сыромятников Н. А. Режимы работы асинхронных двигателей. Госэнергоиздат. 1950.
39. Тун А. Я. Наладка бесконтактной аппаратуры электроприводов. «Энергия». 1964.
40. Тун А. Я., Иванов А. О. Наладка электрических аппаратов и машин в схемах электроприводов. Госэнергоиздат. 1958.
41. Фингер А. А. Ртутные выпрямители. «Энергия». 1964.
42. Хмелевский В. С. Наладка электропривода. Госэнергоиздат. 1958.
43. Хомяков М. В. Профилактические испытания высоковольтного оборудования. Госэнергоиздат. 1957.
44. Электрические измерения. Под. ред. Фремке А. В. Госэнергоиздат. 1950.

Васильев Сергей Ефимович,
Забарский Борис Маркович,
Забокрицкий Евгений Иосифович

СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Редактор *Н. М. Титова*
Художественный редактор *В. М. Тепляков*
Оформление художника *В. Самсонова*
Технический редактор *Е. Н. Розенцвейг*
Корректор *Л. В. Лисицкая*

БФ 06684. Зак. № 6-219. Изд. № 219. Тираж 100 000 (1—50 000).
Бумага № 3. 60×84[1]/[16]. Печати. физ. листов 44,5+1 вкл.
Условных печатн. листов 41,5. Учетно-издат. листов 40,74.
Подписано к печати 18.XI 1966 г. Цена 2 руб. 24 коп.

Издательство «Наукова думка», Киев, Репина, 3.

Книжная фабрика им. Фрунзе Комитета по печати при Совете Министров УССР.
Харьков, Донец-Захаржевская, 6/8